

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-177788

(43)Date of publication of application : 14.07.1995

(51)Int.Cl. H02P 6/16  
H02P 6/20

(21)Application number :	06-238500	(71)Applicant :	TOYOTA MOTOR CORP
(22)Date of filing :	05.09.1994	(72)Inventor :	KAWABATA YASUMI YAMADA EIJI MIURA TETSUYA TAGA YOSHIKI

(30)Priority

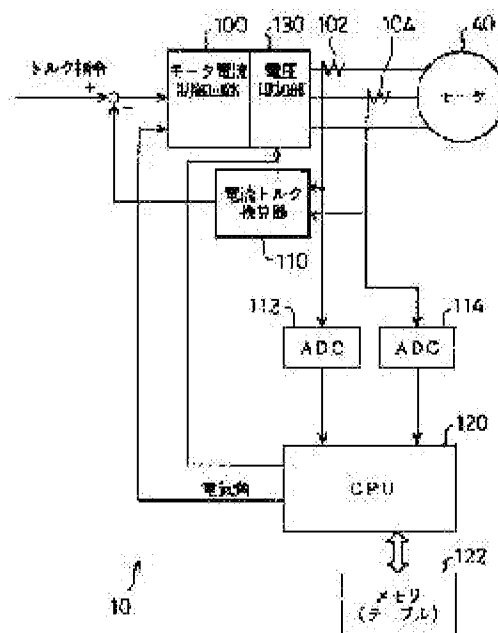
Priority number : 05291385    Priority date : 26.10.1993    Priority country : JP

(54) ELECTRICAL ANGLE DETECTOR AND DRIVER OF SYNCHRONOUS MOTOR USING  
IT

(57)Abstract:

**PURPOSE:** To accurately and easily detect an electrical angle even if a rotor is still for practical control by detecting at least two current behaviors determined by the inductance of a coil winding which is correlated with the electrical angle and then determining the position of the rotor by referring to the relationship between the current behavior and the electrical angle being stored in advance.

CONSTITUTION: A CPU 120 outputs a predetermined signal to a voltage application part 130 and applies a specific voltage between the terminals U and VW of a motor 40, takes in the output of a current detector 102 via an ADC 112, and then measures the lapse time until U-phase current reaches a specific value. Then, a specific voltage is applied between the terminals V and WU similarly and the lapse time until



V-phase current reaches a specific value is measured. Then, an electrical angle is obtained by referring to a table stored in a memory 122 in advance from these two lapse times. The electrical angle signal is output to a motor control circuit 100 and is used to set the phase of a signal applied to each phase as the position information of a rotor when starting a motor 40.

---

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]	18.05.1998
[Date of sending the examiner's decision of rejection]	
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]	
[Date of final disposal for application]	
[Patent number]	3381408
[Date of registration]	20.12.2002
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of extinction of right]	

\* NOTICES \*

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] It is electrical angle detection equipment of the synchronous motor which makes a coil rotate a rotator by the interaction of the field according a polyphase current to a sink and this coil, and the field by the permanent magnet. The 1st storage means which memorizes beforehand the relation of the behavior of a current and the electrical angle which flow according to the electrical potential difference which impressed and this impressed the predetermined electrical potential difference to the 1st combination of a polyphase, The 2nd storage means which memorizes beforehand the relation of the behavior of a current and the electrical angle which flow according to the electrical potential difference which impressed the predetermined electrical potential difference and was this impressed to the interphase of different combination from said 1st combination, The 1st detection means which impresses said electrical potential difference to said 1st combination, and detects the behavior of the flowing current, The 2nd detection means which impresses said electrical potential difference to said 2nd combination, and detects the behavior of the flowing current, this -- electrical angle detection equipment equipped with an electrical angle operation means to search for the electrical angle of said motor by Hazama of 0-2pi with reference to the relation memorized by the said 1st and 2nd storage means based on the behavior of the current detected by the 1st and 2nd detection means.

[Claim 2] The said 1st and 2nd storage means is electrical angle detection equipment which is a means to memorize the relation of the inductance are electrical angle detection equipment according to claim 1, and corresponding to the behavior of a current, and an electrical angle.

[Claim 3] Electrical angle detection equipment according to claim 1 which constituted the pole pair of said synchronous motor from N pole and the south pole from which a magnetic property differs, and the behavior of said current of per the electrical angle pi constituted as the behavior in other electrical angles pi, and different behavior.

[Claim 4] Electrical angle detection equipment [ equipped with an electrical-potential-difference impression means to impress the electrical potential difference equivalent to the nonlinear field of the magnetic properties of the magnetic circuit which the combination and said rotator of the polyphase which impresses said electrical potential difference to either / at least / said 1st detection means or the 2nd detection means constitute to the combination of the polyphase concerned ] according to claim 1.

[Claim 5] It is electrical angle detection equipment of the synchronous motor which makes a coil rotate a rotator by the interaction of the field according a polyphase current to a sink and this coil, and the field by the permanent magnet. An electrical potential difference is impressed to each combination of said polyphase, and it is based on the behavior of the current which flows according to this electrical potential difference. By the approximation calculation An electrical angle operation means to calculate the electrical angle within the section of electrical angle 0-pi or pi - 2pi, Electrical angle detection equipment equipped with a section specification means to specify whether an electrical angle belongs to which the section of 0-pi or pi - 2pi, and an electrical angle decision means to determine only one electrical angle from said detected electrical angle and the specified this section.

[Claim 6] It is electrical angle detection equipment according to claim 5. An electrical angle operation

means A current detection means to detect the behavior of the current which flows according to the electrical potential difference which carried out sequential impression and this impressed the electrical potential difference about the combination of N ( $N \geq 3$ ) individual of a polyphase in the three phase synchronous motor, Electrical angle detection equipment which the error by straight-line approximation becomes from an approximation calculation means to search for the electrical angle of said motor, among the behavior of the current of this \*\*\*\*\* N individual by a selection means to choose the smallest thing, and the behavior of the this chosen current to straight-line approximation.

[Claim 7] Said current detection means is electrical angle detection equipment according to claim 6 which consisted of a means to survey behavior of a current about N-1 in the combination of said N individual, and a means to calculate from the actual measurement concerned of N-1 piece about remaining one piece.

[Claim 8] It is electrical angle detection equipment according to claim 5, and said synchronous motor is a three phase synchronous motor which uses the three-phase alternating current. Said electrical angle operation means A current detection means to detect each current value at the time of impressing a predetermined electrical potential difference to the interphase of each combination of a three phase, [ an area specification means to specify any one of the areas which divides the electrical angle  $\pi$  into six equally from the relation of the size of three current values, and in the this pinpointed area ] the average of three detected this current values -- this -- A phase count means to ask for the phase in this area of an electrical angle by the approximate expression of  $\theta \cdot \tan \theta$  about the interphase in which said current value has extremal value, Electrical angle detection equipment equipped with an include-angle count means to search for the electrical angle within the section of  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$ , based on said pinpointed area and said called-for phase.

[Claim 9] It is electrical angle detection equipment according to claim 5. Said section specification means An electrical-potential-difference impression means to impress the electrical potential difference equivalent to the nonlinear field of the magnetic properties of the magnetic circuit which the specific combination and said specific rotator of said polyphase constitute to the combination of the polyphase concerned, Electrical angle detection equipment equipped with a detection means to detect the behavior of the current which flows to this interphase according to the impressed this electrical potential difference, and an electrical angle range specification means to pinpoint the range of an electrical angle for  $\pi$  as a unit from the behavior of the this detected current.

[Claim 10] Said electrical angle range specification means is electrical angle detection equipment according to claim 9 equipped with a means to pinpoint the range of an electrical angle, by size with the threshold beforehand determined as the magnitude of said current.

[Claim 11] It is electrical angle detection equipment equipped with the means which compares by being electrical angle detection equipment according to claim 9, and said electrical angle range specification means switching the size of said threshold by the area pinpointed by said include-angle detection means.

[Claim 12] It is electrical angle detection equipment equipped with a means pinpoint the range of an electrical angle, by size with the threshold which determined as the magnitude of the current to which said electrical angle range specification means flows to a interphase according to the this impressed electrical potential difference beforehand by being electrical angle detection equipment according to claim 9, and being equipped said electrical-potential-difference impression means with an electrical-potential-difference decision means determine the magnitude of said electrical potential difference to impress based on the area pinpointed by said include-angle detection means.

[Claim 13] It is electrical angle detection equipment according to claim 5. Said section specification means The 1st electrical-potential-difference impression means which impresses the electrical potential difference equivalent to the nonlinear field of the magnetic properties of the magnetic circuit which the specific combination and said specific rotator of said polyphase constitute to a predetermined interphase, The this electrical potential difference to impress is distinguishing the size of a current which flows to this interphase according to each this impressed electrical potential difference from the 2nd electrical-potential-difference impression means which impresses the electrical potential difference from which a

polarity's differs to the interphase from which said interphase's differs. Electrical angle detection equipment equipped with an electrical angle range specification means to pinpoint the range of an electrical angle for  $\pi$  as a unit.

[Claim 14] Electrical angle detection equipment which made the electrical potential difference which the said 1st and 2nd electrical-potential-difference impression means impresses the lower limit of said nonlinear field while having an impression interphase decision means to have been electrical angle detection equipment according to claim 13, and to determine the interphase which the said 1st and 2nd electrical-potential-difference impression means impresses based on the section specified by said section specification means.

[Claim 15] Electrical angle detection equipment [ equipped with a means to reduce the this impressed electrical potential difference quickly after impressing an electrical potential difference to said interphase and detecting the behavior of the current over this electrical potential difference ] according to claim 1, 5, or 9.

[Claim 16] Claims 1 and 5 equipped with a means to control the frequency of said electrical potential difference to impress in a frequency higher than the frequency of the alternating voltage by which it is impressed for a drive at said coil, or electrical angle detection equipment given in nine.

[Claim 17] It is electrical angle detection equipment which is a means to detect by the time amount which is electrical angle detection equipment according to claim 1, and will require by the time at least one side of the 1st and 2nd detection means serves as a predetermined current value in the behavior of a current.

[Claim 18] It is electrical angle detection equipment of the synchronous motor which makes a coil rotate a rotator by the interaction of the field according a polyphase current to a sink and this coil, and the field by the permanent magnet. Within the time amount which the electrical angle  $\pi$  which becomes settled by the rotational frequency upper limit of said motor which detects an electrical angle takes An include-angle detection means to detect the electrical angle within the section of electrical angle  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$  based on the behavior of the current which impresses an electrical potential difference to a predetermined combination of said polyphase, and flows according to this electrical potential difference, While determining the initial value of an electrical angle as a section specification means to specify whether an electrical angle belongs to which the section of  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$  once [ at least ], from said detected electrical angle and the specified this section It is electrical angle detection equipment equipped with a renewal means of an electrical angle to update a current electrical angle using the electrical angle detected by said include-angle detection means, after that.

[Claim 19] Claims 1, 5, and 9 or electrical angle detection equipment given in 18, and a reverse electromotive voltage detection means to detect the reverse electromotive voltage generated in said coil with rotation of a rotator, Based on the detected this reverse electromotive voltage, in the 2nd electrical angle detection means which detects an electrical angle, and the field as for which said rotator is carrying out halt or low-speed rotation The driving gear of the synchronous motor equipped with a driver voltage impression means to impress the electrical potential difference for a drive to said coil, using the detection result of said 2nd electrical angle detection means using the detection result of said electrical angle detection equipment except this field on the other hand.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the driving gear of a synchronous motor using the electrical angle detection equipment which detects the electrical angle in a synchronous motor, and this electrical angle detection equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, what detects the rotation location of the permanent magnet on a rotator, using a hall device as equipment which detects the electrical angle in a synchronous motor, and the equipment which applies high-frequency voltage between coils and detects the location (a control top is an electrical angle) of a rotator from the voltage waveform between coils are proposed (for example, JP,58-37790,B).

[0003] In the case of the synchronous motor which used the permanent magnet, the latter configuration uses that a reverse electromotive voltage arises by rotation of a rotator. The location of a reverse electromotive voltage, as a result the rotator at that time is presumed from the electrical potential difference applied to the coil, and the current which actually flowed. The high-frequency voltage for detection is superimposed on the alternating voltage for a drive impressed to stator-winding Hazama in fact, it is detecting the voltage waveform between the coil, and an electrical angle is detected. The technique of detecting an electrical angle using change of the inductance of such stator winding is excellent not using a special sensor.

[0004] Since the control unit of the motor using such technique does not use the sensor of dedication for detection of the rotation location of a rotator, it is also called a sensor loess control unit. In the control device of sensor loess, in order to detect an electrical angle correctly, it has a mathematical model in the interior and what takes the configuration of correcting the estimated position of a rotator is proposed from the difference of the calculated current and the current which actually flowed (for example, "implementation of brushless DC motor control system without position transducer" execution \*\*\*\*, Nobuyuki Matsui, Heisei 2 semi-conductor power conversion study group data SEP- 90 -21).

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, by the conventional technique of presuming an electrical angle using a reverse electromotive voltage, since a reverse electromotive voltage was not produced unless the rotator rotated, in the condition that the rotator has stopped, there was a problem said that an electrical angle is undetectable. Although the thing of having moved a sink and a rotator for a current to stator winding at random by the beforehand regular pattern, and producing a reverse electromotive voltage was also proposed in order to measure an electrical angle by the idle state, in the system which may be directly linked with the external member, the revolving shaft of a motor might produce the motion besides \*\* in the external member, and was not able to call it desirable technique. For example, like an electric vehicle, when the motor and the tire are connected by the gear, driving force will be transmitted to small but a tire. Be [ going to admit a non-control state / just / it / since the relation between a car and a road surface can consider various situations / such / so to speak ]

[0006] The various proposals accompanying sensor loess control were not able to solve the above-mentioned problem when the rotator has stopped, either. When a rotator is more than a predetermined rate and it is rotating, control of the motor using this electrical angle detection and this using a reverse electromotive voltage is the technique excellent in effectiveness and detection precision. Therefore, because the special feature which was excellent in sensor loess control was efficiently employed when becoming presumption of an electrical angle until it reaches the condition and a fixed rotational speed which the rotator has stopped, and detectable, solution of this problem was that for which it waits eagerly in the field of the synchronous motor.

[0007] In addition, although the method of searching for the electrical angle of a permanent magnet motor was studied using the difference in an inductance according to the electrical angle of a synchronous motor (for example, JP,6-113585,A, and the 64th time, the 74th power electronics study group regular-meeting data), it was not able to pass for an electrical angle to be searched for per 30 degrees, and practical control was not able to be realized. When it was going to search for the electrical angle in the precision of less than 30 degrees, about a complicated electrical-potential-difference equation, a solution or a colander is not obtained and it could not become practical at this point, either.

[0008] Even if the rotator had stopped in response to the request of the sensor loess control mentioned above, this invention detected the electrical angle often [ precision ] and simply, and was made for the purpose of presenting practical control.

[0009]

[Means for Solving the Problem] The 1st electrical angle detection equipment of this invention is electrical angle detection equipment of the synchronous motor which makes a coil rotate a rotator by the interaction of the field according a polyphase current to a sink and this coil, and the field by the permanent magnet. The 1st storage means which memorizes beforehand the relation of the behavior of a current and the electrical angle which flow according to the electrical potential difference which impressed and this impressed the predetermined electrical potential difference to the 1st combination of a polyphase, The 2nd storage means which memorizes beforehand the relation of the behavior of a current and the electrical angle which flow according to the electrical potential difference which impressed the predetermined electrical potential difference and was this impressed to the interphase of different combination from said 1st combination, The 1st detection means which impresses said electrical potential difference to said 1st combination, and detects the behavior of the flowing current, The 2nd detection means which impresses said electrical potential difference to said 2nd combination, and detects the behavior of the flowing current, this -- let it be a summary to have had an electrical angle operation means to search for the electrical angle of said motor by Hazama of  $0-2\pi$ , with reference to the relation memorized by the said 1st and 2nd storage means based on the behavior of the current detected by the 1st and 2nd detection means.

[0010] The 2nd electrical angle detection equipment of this invention is electrical angle detection equipment of the synchronous motor which makes a coil rotate a rotator by the interaction of the field according a polyphase current to a sink and this coil, and the field by the permanent magnet. An electrical potential difference is impressed to each combination of said polyphase, and it is based on the behavior of the current which flows according to this electrical potential difference. By the approximation calculation An electrical angle operation means to calculate the electrical angle in the section of electrical angle  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$ , Let it be a summary to have had a section specification means to specify whether an electrical angle belongs to which the section of  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$ , and an electrical angle decision means to determine only one electrical angle from said detected electrical angle and the specified this section.

[0011] The 3rd electrical angle detection equipment of this invention is set to the above-mentioned electrical angle detection equipment. Said section specification means An electrical-potential-difference impression means to impress the electrical potential difference equivalent to the nonlinear field of the magnetic properties of the magnetic circuit which the specific combination and said specific rotator of said polyphase constitute to the combination of the polyphase concerned, Let it be a summary to have had a detection means to detect the behavior of the current which flows to this interphase according to

the impressed this electrical potential difference, and an electrical angle range specification means to pinpoint the range of an electrical angle for  $\pi$  as a unit from the behavior of the this detected current. [0012] The 4th electrical angle detection equipment of this invention is electrical angle detection equipment of the synchronous motor which makes a coil rotate a rotator by the interaction of the field according a polyphase current to a sink and this coil, and the field by the permanent magnet. Within the time amount which the electrical angle  $\pi$  which becomes settled by the rotational frequency upper limit of said motor which detects an electrical angle takes An include-angle detection means to detect the electrical angle within the section of electrical angle  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$  based on the behavior of the current which impresses an electrical potential difference to a predetermined combination of said polyphase, and flows according to this electrical potential difference, While determining the initial value of an electrical angle as a section specification means to specify whether an electrical angle belongs to which the section of  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$  once [ at least ], from said detected electrical angle and the specified this section Let it be a summary to have had after that a renewal means of an electrical angle to update a current electrical angle using the electrical angle detected by said include-angle detection means.

[0013] On the other hand, while the driving gear of the synchronous motor of this invention is equipped with the above 1st thru/or the 4th electrical angle detection equipment A reverse electromotive voltage detection means to detect the reverse electromotive voltage generated in said coil with rotation of a rotator, Based on the detected this reverse electromotive voltage, in the 2nd electrical angle detection means which detects an electrical angle, and the field as for which said rotator is carrying out halt or low-speed rotation On the other hand, let it be a summary to have had a driver voltage impression means to impress the electrical potential difference for a drive to said coil using the detection result of said 2nd electrical angle detection means using the detection result of said electrical angle detection equipment except a field.

[0014]

[Function] The 1st electrical angle detection equipment of this invention detects the behavior of the current which flows with the 1st detection means according to the electrical potential difference which impressed and this impressed the predetermined electrical potential difference to the 1st combination of the polyphase of a synchronous motor. On the other hand, the behavior of the current which flows with the 2nd detection means according to this electrical potential difference that impressed the predetermined electrical potential difference and was impressed to the interphase of different combination from the 1st combination is detected. Even if the rotator is not rotating, if the inductance of a coil changes with locations (electrical angle) of a rotator and is in a synchronous motor, two or more locations of a rotator where the inductance of one interphase serves as the same value are possible. Therefore, with at least two or more detection means, by detecting the behavior of the current reflecting an inductance and referring to the relation of the behavior of a current and the electrical angle which were beforehand memorized for the 1st and 2nd storage means, decision becomes possible in the range of the electrical angles  $0-2\pi$  about the location of a rotator, and an electrical angle operation means searches for the electrical angle of a synchronous motor in this way.

[0015] A means to memorize the behavior of a current and the relation of the inductance according to an electrical angle as 1st and 2nd storage means here can be used. In this case, since what is necessary is just to actually memorize the relation between the behavior of a current, and an inductance, a high detection precision is realizable with an easy configuration.

[0016] If the behavior of a current and the relation of the inductance according to an electrical angle are what is different by  $0-\pi$  of an electrical angle, and  $\pi-2\pi$ , the 1st and 2nd detection means can perform detection of an electrical angle easily. It is also suitable that there are many methods of realizing such relation, for example, constitute the pole pair of a synchronous motor from N pole and the south pole from which a magnetic property differs, and the behavior of said current of per the electrical angle  $\pi$  makes it the behavior in other electrical angles  $\pi$  and different behavior.

[0017] Moreover, the thing which impresses the electrical potential difference equivalent to the nonlinear field of the magnetic properties of the magnetic circuit which the combination and said rotator of the polyphase which impresses said electrical potential difference constitute to the combination of the



polyphase concerned then the behavior of a current, and the relation of the inductance according to an electrical angle become what is different by  $0\text{-}\pi$  of an electrical angle, and  $\pi\text{-}2\pi$ .

[0018] Like the 2nd electrical angle detection equipment of this invention, an electrical angle shall be calculated by the approximation calculation based on the behavior of said current. An electrical angle operation means is set to a three phase synchronous motor. For example, about the combination of N ( $N \geq 3$ ) individual of a polyphase Sequential impression of the electrical potential difference is carried out, among the behavior of the current of N individual which detected and asked for the behavior of the current which flows according to the this impressed electrical potential difference, what has the smallest error by straight-line approximation can be chosen, and the electrical angle of said motor can also be searched for by straight-line approximation from the behavior of the selected current. Or behavior of a current is surveyed about N-1 in the combination of N individual, and it does not interfere about remaining one piece as what is calculated from the actual measurement concerned of N-1 piece.

[0019] Moreover, if it is a three phase synchronous motor among synchronous motors, each current value at the time of impressing a predetermined electrical potential difference to the interphase of each combination of a three phase will be detected. [ in the area which specified any one of the areas which divides the electrical angle  $\pi$  into six equally, and was further this pinpointed from the relation of the size of three current values ] the average of three detected current values -- this -- About the interphase in which said current value has extremal value, the electrical angle within the section of  $0\text{-}\pi$  or  $\pi - 2\pi$  can be searched for based on the thing which asks for the phase in this area of an electrical angle by the approximate expression of  $\theta \cdot \tan \theta$ , then the pinpointed area and the called-for phase.

[0020] In the 2nd electrical angle detection equipment which calculates an electrical angle by the approximation calculation, the 3rd electrical angle detection equipment of this invention has the description in the configuration which judges whether an electrical angle belongs to which the section to  $0\text{-}\pi$  or  $\pi\text{-}2\pi$ , and can pinpoint the range where an electrical angle belongs by size with the threshold beforehand determined as the magnitude of the current at the time of impressing the electrical potential difference of a nonlinear field for example. In this case, although detection and a comparison of a current value can be substituted for at least 1 time if the interphase which impresses an electrical potential difference is changed according to the electrical angle within the section of  $0\text{-}\pi$  or  $\pi - 2\pi$ , changing the interphase which impresses an electrical potential difference and performing multiple times, and measurement and a comparison does not interfere, either.

[0021] The precision of a judgment can be raised as what compares by switching the size of a threshold by to which section specified by the include-angle detection means an electrical angle belongs since the current values over impression of a predetermined electrical potential difference differ greatly. On the contrary, the magnitude of the electrical potential difference to impress is determined based on the section specified by the include-angle detection means, it is not necessary to make the thing which pinpoints the range of an electrical angle, then the electrical potential difference to impress large to  $\pi$  by size with the threshold beforehand determined as the magnitude of the current which flows to a interphase according to the impressed electrical potential difference, and the evil accompanying impression of the high voltage can be removed.

[0022] The section when an electrical angle belongs can impress the electrical potential difference equivalent to the nonlinear field of the magnetic properties of the magnetic circuit which the specific combination and said specific rotator of a polyphase constitute to a predetermined interphase, and  $\pi$  can specify as a unit because this electrical potential difference distinguishes the size of a current which flows to the interphase which impresses the electrical potential difference from which a polarity differs to a different interphase from the interphase which impressed this electrical potential difference, and corresponds according to each impressed electrical potential difference continuously.

[0023] Even in this case, since the ease of distinction changes with areas where the electrical angle within the section of  $0\text{-}\pi$  or  $\pi - 2\pi$  belongs, if it is decided based on the area where an electrical angle belongs that it will be the interphase which is easy to distinguish the interphase which impresses an electrical potential difference, if this applied voltage is made into the lower limit of a nonlinear field, it can be  $\pi$ (ed).

[0024] When an electrical potential difference is impressed to a interphase, even if it stops impression of an electrical potential difference, predetermined time amount is taken for an electrical potential difference to fall by transient reduction. Then, after detecting the behavior of the current over the impressed electrical potential difference, the thing for which the impressed electrical potential difference is reduced quickly and which shorten time amount until it carries out a thing and becomes detectable [ the degree of the behavior of a current ] is also suitable. In order to reduce the impressed electrical potential difference quickly, a interphase may be short-circuited and reverse voltage may be impressed to a interphase.

[0025] In addition, if the frequency of the electrical potential difference to impress is controlled in a frequency higher than the frequency of the alternating voltage by which it is impressed for a drive at said coil, also where the alternating voltage for a drive is applied, the signal for detection of an electrical angle can be extracted easily. Moreover, the drive of a synchronous motor is not affected.

[0026] Although the behavior of the current which a detection means detects can consider various things, it can consider the configuration which detects the inductance of the coil which becomes settled with the location (electrical angle) of a rotator and the amounts which have correlation, such as time amount until a current value rises to a predetermined current value, a current value after predetermined time progress, and a differential value of the current value at the predetermined time progress time, paying attention to the transient phenomenon after impressing a predetermined electrical potential difference, for example. Moreover, it is good also as what detects the behavior of a current based on the transient response of the side to which an electrical potential difference is made into 0 thru/or a low electrical potential difference after impressing a predetermined time predetermined electrical potential difference, and the electrical potential difference falls.

[0027] According to the 4th electrical angle detection equipment of this invention, within the time amount which the electrical angle  $\pi$  in which an include-angle detection means becomes settled by the rotational frequency upper limit of said motor which detects an electrical angle takes, an electrical potential difference is impressed to a predetermined combination of said polyphase, and the electrical angle within the section of electrical angle  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$  is detected based on the behavior of the current which flows according to this electrical potential difference. The way things stand, it specifies [ to which an electrical angle belongs to any of  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$  / or or ] whether since specification cannot be carried out, an electrical angle belongs to which the section of  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$  once [ at least ] with a section specification means. In this way, the initial value of an electrical angle is determined from the detected electrical angle and the specified this section. After that, since whether it belongs to which range can specify an electrical angle on count even if it detects an electrical angle within the section of  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$ , a current electrical angle is updated using this electrical angle.

[0028] On the other hand, the driving gear of the synchronous motor of this invention is equipped with above electrical angle detection equipment, and a driver voltage impression means impresses the electrical potential difference for a drive to the coil of a synchronous motor using the detection result of this electrical angle detection equipment in the field as for which the rotator is carrying out halt or low-speed rotation. On the other hand, except this field, a reverse electromotive voltage detection means detects the reverse electromotive voltage generated in a coil with rotation of a rotator. Based on this reverse electromotive voltage, with the 2nd electrical angle detection means, an electrical angle is detected and a driver voltage impression means impresses the electrical potential difference for a drive to a coil using the detection result of the 2nd electrical angle detection means.

[0029]

[Example] In order to clarify further a configuration and an operation of this invention explained above, the suitable example of this invention is explained below. the block diagram showing the outline configuration of the motor control equipment 10 with which drawing 1 contains the electrical angle detection equipment as one example of this invention, the explanatory view showing the outline configuration of the three phase synchronous motor 40 from which drawing 2 serves as a controlled system, and the end view in which drawing 3 shows the relation between the stator 30 of this three phase synchronous motor 40, and a rotator 50 -- it comes out.

[0030] First, the whole three phase synchronous motor 40 structure is explained using drawing 2. This three phase synchronous motor 40 consists of a stator 30, a rotator 50, and a case 60 that contains these. The permanent magnet 52 is stuck on the periphery and the rotator 50 is supported to revolve free [ rotation ] by the bearing 61 and 62 in which the revolving shaft 55 prepared in the shaft center was formed by the case 60.

[0031] A rotator 50 carries out two or more sheet laminating of Rota 57 which pierced and fabricated the non-oriented magnetic steel sheet. This Rota 57 equips with four salient poles 71 thru/or 74 the location which intersects perpendicularly, as shown in drawing 3. After carrying out the laminating of Rota 57, a revolving shaft 55 is pressed fit and it carries out [ tacking ] of Rota 57 which carried out the laminating. In Rota 57 made from this magnetic steel sheet, the insulating layer and the glue line are formed in that front face, it heats to after [ a laminating ] predetermined temperature, and melting and immobilization of a glue line are done.

[0032] In this way, after forming a rotator 50, it is the peripheral face of a rotator 50 and a permanent magnet 51 thru/or 54 are stuck on a salient pole 71 thru/or the mid-position of 74 [ shaft orientations ]. This permanent magnet is magnetized in the thickness direction. Where a rotator 50 is attached to a stator 30, if its attention is paid to the permanent magnets 51 and 52 of a lot, these permanent magnets 51 and 52 will form the magnetic path Md which pierces through Rota 57 and a stator 20 (refer to drawing 3 alternate long and short dash line).

[0033] The stator 20 which constitutes a stator 30 is formed by piercing the sheet metal of a non-oriented magnetic steel sheet as well as Rota 57, and as shown in drawing 3, it is equipped with a total of 12 teeth 22. The coil 32 which makes a stator 30 generate rotating magnetic field is wound around the slot 24 formed between teeth 22. In addition, although the bolthole which lets the bolt 34 for immobilization pass is prepared in the periphery of a stator 20, illustration is omitted in drawing 3.

[0034] A stator 30 is once fixed by heating and fusing a glue line as a condition which carried out the laminating of the tabular stator 20, and pressed each other. After winding a coil 32 around teeth 22 and completing a stator 30 in this condition, this is attached to a case 60, through and this are bound tight for the bolt 34 for immobilization to a bolthole, and the whole is fixed to it. Furthermore, this three phase synchronous motor 40 is completed by attaching a rotator 50 free [ rotation ] by the bearing 61 and 62 of a case 60.

[0035] If an exciting current is passed so that rotating magnetic field may be generated in the stator coil 32 of a stator 30, as shown in drawing 3, the magnetic path Mq which pierces through an adjoining salient pole and Rota 57, and a stator 20 will be formed. In addition, the magnetic flux formed with d shaft, and a call and the stator coil 32 of a stator 30 in the shaft with which the magnetic flux formed with the permanent magnet 52 mentioned above pierces through a rotator 50 in the direction of a path calls q shaft the shaft which pierces through a rotator 50 in the direction of a path. Electrically in this example (pole 4), both shafts are making the include angle of 90 degrees.

[0036] Next, the configuration of motor control equipment 10 is explained according to drawing 1. Motor control equipment 10 The torque command from the outside Popularity is won. The three phase of the three phase synchronous motor 40 The motor current of (U, V, and W phase) The motor current control circuit 100 to control, The U phase current  $I_u$  and the V phase current  $I_v$  of the three phase synchronous motor 40 The current detector 102,104 to detect and the detected current The current-torque conversion machine 110 converted into torque value, two analog-to-digital converters (ADC) 112,114 which change into digital data the current value similarly detected, one chip microprocessor (CPU) 120 which performs the operation of an electrical angle, and an electrical angle It consists of memory 122 which memorized the table for calculating. The torque converted with the current-torque conversion vessel 110 is added so that difference with a torque command value may be taken, and it has composition which carries out feedback control of the actual torque of the three phase synchronous motor 40. Moreover, the electrical-potential-difference impression section 130 which determines the electrical potential difference impressed between each coil of a motor so that each phase currents  $I_u$ ,  $I_v$ , and  $I_w$  of the motor determined based on the torque command may be acquired as the motor current control circuit 100 is formed in the output stage. The control output from CPU120 is outputted to this

electrical-potential-difference impression section 130, and it is possible to control from the outside the electrical potential difference impressed to each coil of the three phase synchronous motor 40. This point is explained to a detail later.

[0037] Next, in the motor control equipment 10 which controls the three phase synchronous motor 40 of this configuration, and this, the principle and the actual configuration which detect the electrical angle of a rotator 50 are explained in detail. Drawing 4 is the representative circuit schematic of the three phase synchronous motor 40. When the predetermined electrical potential difference E1 is applied to U phase and VW interphase of the three phase synchronous motor 40 in step function so that it may illustrate, the current  $I_u(t)$  which flows here shows the transient response which becomes settled by the inductance component L of a circuit. The graph of drawing 5 showed an example of this transient response. In addition, the inductance L of a circuit serves as a function of the electrical angle theta of the rotator 50 at that time. That is, if it is in the condition (quiescent state) that the rotator 50 is not rotating, the inductance L of a circuit becomes settled according to the angle (electrical angle) which d shaft of this rotator 50 makes to q shaft electrically.

[0038] The current (it is hereafter called U phase current) (t)  $I_u$  which flows in the equal circuit shown in drawing 4 shows the response of a degree type (1).

$$I_u(t) = \{1 - \exp(-Rt/L)\} E1/R \quad (1)$$

Here,  $\exp()$  shows an exponential function, R shows the impedance of a circuit and t shows time amount. If the U phase current  $I_u$  in this case (t) has a large inductance L as shown in the bottom column of drawing 5, the increment in a current is slow, and as for the time amount Ttheta2 until a current goes up to a predetermined value, an inductance L becomes larger than the time amount Ttheta1 in the case of being small. The inductance L and the electrical angle theta showed the correlation of the symmetry focusing on the electrical angle pi (180 degrees) like drawing 6 in this example. In drawing 6, a continuous line shows an example of the actual measurement of the inductance between U-VW, and the relation of an electrical angle, and a broken line shows an example of the actual measurement of the inductance between V-WU, and the relation of an electrical angle. In addition, the above explanation is premised on the case where the rotator 50 has stopped. In the example, these relation is measured beforehand and it memorizes in memory 122.

[0039] If time amount Ttheta until the current which flows to each phase reaches a predetermined value is measured, the inductance L of a coil can be known. If an inductance L is known, the rotation location theta where a rotator 50 is possible, i.e., an electrical angle, will become clear. In addition, as shown in drawing 7, the pulse of the predetermined electrical potential difference E can be impressed, and the inductance of a circuit can be known also by measuring the maximum of a current which flows in a coil to this electrical potential difference E. In this case, the maximum current value Im1 when an inductance is small turns into a big value from the maximum current value Im2 when an inductance is large.

[0040] In the actual measurement shown in drawing 6, although the relation between an electrical angle and an inductance differs by 0 - pi, and pi-2pi, an electrical angle and an inductance essentially show the same relation by 0 - pi, and pi-2pi. However, in the example, if distinction of both the sections did not stick, since it was difficult to search for an electrical angle from measurement of a current value, both relation should be differed in both the sections, as shown in drawing 6. Although later mentioned about the approach of considering an electrical angle and an inductance as relation which is different in both the sections, in this example, as it is indicated in drawing 6 as an electrical angle and an inductance, it is a high order function, and the relation is surveyed and is memorized by memory 122 in the table format. Since two or more electrical angles theta to which the inductance in the circuit of one interphase becomes the same may exist so that it may illustrate, even if the inductance about a plane 1 is known, the electrical angle theta does not become settled uniquely. This situation is explained according to drawing 6. Supposing the inductance for which it asked from the maximum current Im2 at the time of impressing the time amount Ttheta2 until the current reaches a predetermined value, or the pulse of the predetermined electrical potential difference E about U phase is L2, as an electrical angle it is supposed that it is possible of an electrical angle from the graph about U phase, four, alpha 1 thru/or alpha 4, will be found out.

[0041] Next, the inductance is similarly measured about V phase. The electrical angle  $\theta$  of V phase and the relation with an inductance  $L$  are that to which only 120 phases shifted the relation about U phase. Supposing the inductance for which it asked from the maximum current  $I_{m1}$  at the time of impressing the time amount  $T_{\theta 1}$  until the current reaches a predetermined value, or the pulse of the predetermined electrical potential difference  $E$  about V phase is  $L1$ , as an electrical angle it is supposed that it is possible of an electrical angle from the graph about V phase, four,  $\beta 1$  thru/or  $\beta 4$ , will be found out. Therefore, the electrical angle  $\alpha 1 (= \beta 1)$  is determined as an actual electrical angle of a rotator 50 as a point that the value about U phase and the value about V phase are both satisfied.

[0042] The processing in CPU120 for actually detecting an electrical angle is explained. Drawing 8 is a flow chart which shows the electrical angle detection manipulation routine which CPU120 carries out. If this processing is started, CPU120 will start the timer built in CPU120 while impressing the predetermined electrical potential difference  $E1$  between U-VW first, so that it may illustrate (step 200). Impression of the predetermined electrical potential difference  $E1$  is performed by outputting the signal defined beforehand to the electrical-potential-difference impression section 130. Then, the output of the current detector 102 is read through ADC112, and the U phase current  $I_u(t)$  is detected (step 205). The read U phase current  $I_u(t)$  is the predetermined value  $I_{ref}$ . It judges whether it reached or not (step 210), and when it reaches, the time amount  $t$  is read as elapsed time  $T_{\theta}$  of a timer (step S215).

[0043] Next, after stopping impression of the electrical potential difference between U-VW and carrying out predetermined time progress, while impressing the predetermined electrical potential difference  $E1$  between V-WU, a timer is again started from 0 (step 220). Then, the output of the current detector 104 is read through ADC114, and the V phase current  $I_v(t)$  is detected (step 225). The read V phase current  $I_v(t)$  is the predetermined value  $I_{ref}$ . It judges whether it reached or not (step 230), and when it reaches, the time amount  $t$  is read as elapsed time  $T_{v\theta}$  of a timer (step S235). Then, with reference to the table memorized in memory 122, a maximum of four electrical angles  $\alpha 1$  which become settled from both elapsed time  $\alpha 4$  and  $\beta 1$  thru/or  $\beta 4$  are calculated from read two elapsed time  $T_{\theta}$  and  $T_{v\theta}$  (step 240). Furthermore, the difference of these electrical angles searches for the combination which becomes below the allowed value  $\epsilon$ , i.e., the combination used as  $|\alpha - \beta| \leq \epsilon$ , and outputs this as an electrical angle (step 245). The signal of the outputted electrical angle is outputted to the motor control circuit 100, and is used for a setup of the phase of the signal impressed to U [ at the time of starting ], V, and W each phase as information on the rotation location of the rotator 50 at the time of starting a motor 40.

[0044] According to the example explained above, the three phase synchronous motor 40 can be smoothly put into operation using the inductance of a coil, and a request can be controlled also by the condition that the rotator 50 has stopped, from the time of rotation initiation. And it is not necessary to form independently the sensor which detects the rotation location (electrical angle) of a rotator 50. In addition, if the magnitude or its impression time amount of the electrical potential difference  $E1$  impressed to the coil between U-VW is suppressed to the electrical potential difference on which the current exceeding the starting torque of a motor flows, or below impression time amount, there will be no possibility that a motor 40 may start. Consequently, the electrical angle  $\theta$  can be detected, the synchronous motor control unit 10 of controllable sensor loess can be easily constituted also from a idle state, and the miniaturization of equipment and high reliance-ization are also attained. Rotation of an unexpected motor is not produced at the time of starting.

[0045] Next, the 2nd example of this invention is explained. Even after the motor control equipment containing the electrical angle detection equipment of the 2nd example is equipped with the configuration of hardware shown in drawing 9 and a motor starts it, it differs from the 1st example in that an electrical angle is detected. As shown in drawing 9, the motor control equipment 250 of the 2nd example of the 1st example and a fundamental configuration is the same, and it replaces with ADC112,114 and has the envelope detecting element 272,274 which takes out the envelope (envelope) of the output signal of the band pass filter 262,264 which processes the signal from the current detector 102,104, and a band pass filter 262,264. Moreover, in the 2nd example, it has the RF generating section 260 which generates a RF signal to the electrical-potential-difference impression section 130.

[0046] This RF generating section 260 is a circuit which generates the voltage signal  $V_h$  of a high frequency (for example, the frequency 5 high single or more figures thru/or 10kHz) in extent in which this and discrimination are possible to the frequency (it is the frequency which determines the rotational speed of a motor, for example, they are 0 thru/or 300Hz) of the alternating voltage  $V_b$  impressed to each coils U, V, and W of the three phase synchronous motor 40, as typically shown in drawing 10 thru/or drawing 12. In the electrical-potential-difference impression section 130, as shown in drawing 12, the signal which superimposed the RF signal  $V_h$  which the RF generating section 260 outputs to the alternating voltage  $V_b$  for a drive outputted by the command from the motor current control circuit 100 is generated, and this is impressed to each coil of the three phase synchronous motor 40.

[0047] As the 1st example was explained, since the inductance between each coil changes with change of an electrical angle with rotation of a rotator 50, the current which flows to each coil by the high frequency component contained in the voltage signal to impress also changes every moment. This U phase current  $I_u(t)$  and the V phase current  $I_v(t)$  which were detected with the current detector 102,104 are shown in drawing 13. In addition, drawing 13 showed the detection value as a detecting signal  $V_s$  which the current detector 102,104 outputs. Since the band pass filter 262,264 which inputs this signal  $V_s$  passes only the signal of the predetermined frequency width of face centering on the high frequency component generated in the RF generating section 260, as the output signal \*\*\*\* of a band pass filter 262,264 is shown in drawing 14, it becomes what extracted only the high frequency component on which Signal  $V_s$  is overlapped. Furthermore, what inputted this signal \*\*\*\* into the envelope detecting element 272,274, and took out the envelope by the side of plus of a signal is the signal  $V_e$  shown in drawing 15.

[0048] In case CPU120 performs the roll control of the three phase synchronous motor 40, it repeats and performs the electrical angle detection manipulation routine shown in drawing 16. That is, processing which reads the amplitude  $I_u$  and  $I_v$  of a search current first is performed (step S280). Since it is changing in the form where the phase shifted as this processing reads the amplitude in a certain time about U phase and V phase and the current amplitude of U phase and V phase is shown in drawing 17, it can read, respectively. Then, an electrical angle is judged by the same view as the 1st example explained to memory 122 with reference to the table memorized beforehand (step 285). In memory 122, the current amplitude about U phase and the current amplitude about V phase are memorized. The electrical angle which corresponds with reference to this table with both the detected amplitude is determined as a meaning.

[0049] In this way, after determining an electrical angle, the data of the electrical angle currently outputted to the motor current control circuit 100 are updated (step 290). Like the 1st example, although the motor current control circuit 100 calculates the drive current of the three phase synchronous motor 40 based on a torque command value and a current output torque, it determines the frequency and phase of driver voltage with reference to the information on the current electrical angle which CPU120 outputs in that case.

[0050] The electrical angle of the rotator 50 under rotation is detectable by sensor loess with the motor control equipment 250 of this example constituted as mentioned above. Therefore, the configuration of motor control equipment 250 can be made simple, and reliable equipment can be realized. In addition, if only a high frequency component is outputted using a drive current as 0, it is also easy to detect an electrical angle when the rotator 50 has stopped.

[0051] When applied voltage for a drive is set to 0, the electrical potential difference impressed to each phase serves as only a high frequency component. About this, the signal superimposed in the 2nd example is the amplitude  $V_0$ , as it is shown in drawing 18, although explained as a square wave. It can consider as the form near an alternating current wave form. In this case, the current which the current detector 102,104 detects becomes what is shown in the bottom column of drawing 18, and the amplitude value is in those top-most vertices P serves as a degree type (2). Here, R is the impedance of a circuit and  $\omega$  is a value which sets the frequency of the electrical potential difference to impress to  $f$ , and is set to  $\omega = f / 2\pi$ .

$i_s = V_0 / (R^2 + \omega^2 L^2)^{1/2} \quad \text{-- (2)}$

[0052] Therefore, like the above-mentioned example, this current amplitude value is can be calculated about each of U phase and V phase, and the electrical angle of the future present can be searched for. In this case, there is an advantage that there is almost no sound generated from the three phase synchronous motor 40 compared with the case where a pulse voltage is applied. The noise as which the outside of a audio range, then a user sense the frequency of the AC signal impressed from the first is reduced further.

[0053] In the two examples explained above, the relation between an electrical angle and an inductance had become what is electrical angle 0-pi or pi-2pi, and is different. As shown in drawing 19 (A) and (B), the relation between the electrical angle in both the sections, an inductance as a result an electrical angle, and the detected current value shall essentially become the same, and should change this with next configurations in the above-mentioned example.

[0054] If the magnetic flux H added from the outside becomes more than fixed as the relation between the magnetic flux H added from the outside of the magnetic substance and the magnetic flux B inside the magnetic substance is shown in drawing 20 , the internal magnetic flux B will be saturated, and it is known that nonlinearity is shown. It is known between the external magnetic flux H and the internal magnetic flux B that there is relation of a degree type (3).

$B = \mu(H)$  and  $H = \{L(H) \text{ and } D/N^2A\} H \text{ -- (3)}$

D: Magnetic-path length, the number of N:coil turns, A : magnetic-path cross section [0055] In a formula (3), since D, N, and A are constants, inductance L (H) will have nonlinearity. By the way, in the synchronous motor using a permanent magnet, since a permanent magnet exists on a rotator 50, the external magnetic field for the magnetic substance of U phase serves as total with the field by the permanent magnet of a rotator 50, and the field by the current which flows in a coil, for example. As shown in drawing 20 , in the condition that N pole of a permanent magnet has countered the iron core of U phase, the magnetic flux in an iron core serves as relation of Point a. If a current is passed from here from U phase to VW phase as shown in drawing 4 , the magnetic flux by the coil current will be added and the magnetic flux in an iron core will serve as relation of Point b. Since most differences will not be seen at Point a and Point b if a current is small, the to some extent big current needed to be passed and, moreover, Point b needs to be contained in the nonlinear field. Therefore, it asks for the magnitude of the current to pass experimentally.

[0056] On the other hand, when the south pole of a permanent magnet has countered, the external magnetic flux H by the permanent magnet and the magnetic flux B inside an iron core serve as relation of the point c of drawing 20 , and if the current of the same magnitude as having required for moving to a coil from the point a describing above to Point b in this direction is passed, both relation will move to Point d. Change of Hazama of the external magnetic flux at the time of passing this direction and the current of the equivalent in a coil and internal magnetic flux is change which one side starts to a nonlinear field, and another side differs in that it stops at change in a linearity field. Therefore, it can know whether if it puts in another way the exception of whether the present N pole has countered or the south pole has countered by passing the current of the magnitude included in a nonlinear field, it is in a coil to the field of whether an electrical angle is in the field of 0 - pi, and 2pi pi -. By the synchronous motor 40 of an example, the relation of the electrical angle and current (inductance) had actually turned into relation which is different by 0-pi and pi-2pi, as shown in drawing 6 .

[0057] In order to change the relation between an electrical angle and a current (inductance) by electrical angle 0-pi and pi-2pi, it is realizable also by making unsymmetrical magnetic relation to a stator 30 and a rotator 50 outside this. For example, the configuration which sticks the magnetic substance 86 thru/or 89 on one side by which permanent magnets 52 and 54 were alternately magnetized the permanent magnet 51 by the side of a rotator 50 thru/or among 54, and the front face of salient poles 72 and 74 can be considered. Drawing 21 is the explanatory view redrawn linearly, in order to plan the facilities of an understanding for the rotator 50 and stator 30 of a synchronous motor. it illustrates -- as -- the inferior surface of tongue of the permanent magnet 52 of a rotator 50 -- the magnetic substance 86 -- the magnetic substance 86 is formed in the front face of a salient pole 72, and the magnetic substance 89 is respectively formed for the magnetic substance 88 in the inferior surface of tongue of a permanent

magnet 54 on the front face of a salient pole 74. In this case, since those properties differ by the case where it does not exist with the case where the magnetic substance 86 and 87 exists when its attention is paid to the permanent magnets 51 and 52 of the pair which constitutes a magnetic pole, the relation between an electrical angle and the current which flows to each phase is with 180 degrees (0- $\pi$ ) in which the magnetic substance 86 and 87 does not exist, and 180 degrees ( $\pi$ -2 $\pi$ ) in which the magnetic substance 98 exists, and becomes a different thing.

[0058] In addition, since what is necessary is just to break down the symmetric property of magnetic relation about one pole pair, the magnetic substance may be prepared in a stator 30 side. This example was shown in drawing 21 as the magnetic substance 90 and 91. Moreover, even if it prepares the field of non-magnetic material into a magnetic path, it does not interfere. Furthermore, it is realizable even if it devises the part volume of a three phase coil.

[0059] Next, the 3rd example of this invention is explained. Although the electrical angle and the current (inductance) measured the electrical angle in the 1st and 2nd example of the above by detecting respectively the current which shall differ by electrical angle 0- $\pi$  and  $\pi$ -2 $\pi$ , and flows to two phases. Finally in the following examples, the electrical angle is searched for by measuring an electrical angle using the linearity field shown in drawing 20 within the limits of 0- $\pi$  or  $\pi$  - 2 $\pi$ , measuring additionally after that, and determining whether an electrical angle belongs to which range (0- $\pi$  or  $\pi$ -2 $\pi$ ). At this point, it differs from the 1st and 2nd example. In addition, in the following explanation, the electrical angle specified within the limits of either 0- $\pi$  or  $\pi$  - 2 $\pi$  is indicated to be  $\phi$ , and the electrical angle uniquely specified in the range of 0-2 $\pi$  is called  $\theta$ , and is distinguished.

[0060] First, it explains from the configuration of a synchronous motor and its control unit. Drawing 22 is the outline block diagram of the motor control equipment of the 3rd example. This motor control equipment is equipment which drives the three phase synchronous motor 40, and consists of an electronic control unit (only hereafter referred to as ECU) 300 which manages operation control, and an inverter 310 which actually drives the three phase synchronous motor 40 in response to the control signal from ECU300. ECU300 is constituted as an arithmetic logic operation circuit equipped with CPU301, ROM302, RAM303, etc. of common knowledge, outputs a control signal to an inverter 310 through an output port 307, and controls the resistance welding time to each phase while it inputs each detected phase currents IU, IV, and IW through input port 306 and detects an electrical angle so that it may mention later.

[0061] The inverter 310 consists of current detectors 320,321,322 which detect the current of the main drive circuit 314 which consists of a large power switching transistor of the 312 or 6 interface sections which manage an interface with ECU300, and controls directly the energization to each phase of the three phase synchronous motor 40, the PURIDO live circuit 316,318 which drives this main drive circuit 314 by the source and sink side, U phase, V phase, and W phase. The main power supply which drives the three phase synchronous motor 40 is connected to the notation in drawing "+", and "-", and the power source of the positive/negative for control by which the inverter 310 interior was stabilized is connected to a notation "+V" and "-V" from the power circuit which is not illustrated, respectively.

[0062] The interface section 312 is equipped with the dead-time generation circuit which generates a dead time so that it may be the circuit which outputs a signal required for reception and the PURIDO live circuit 316,318 and the transistor of the pair of the main drive circuit 314 may not be in an ON state especially about the signal from ECU300 at coincidence. Moreover, when a SHUTDOWN signal is outputted from ECU300, the gate which intercepts all the signals by the side of the PURIDO live circuit 316,318 is also prepared.

[0063] The PURIDO live circuit 316,318 is a circuit to which the large power switching transistor of the main drive circuit 314 is made to switch at high speed. In addition, in this example, the insulated-gate bipolar mode transistor (IGBT) was used as a large power switching transistor.

[0064] It realizes in the ECU300 interior and the electrical angle detection equipment of this 3rd example showed that outline to the flow chart of drawing 23. Namely, the electrical angle detection equipment realized in the ECU300 interior First, impress an electrical potential difference to a interphase and each phase current is measured (step S330). The electrical angle  $\phi$  in within the limits



of  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$  is calculated (step S340), processing which specifies next whether it is which range of  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$  is performed (step S350), and, finally the electrical angle  $\theta$  in the range of  $0-2\pi$  is searched for (step S360). Among these, since it can treat as processing that the processing (the 1st step) which impresses an electrical potential difference to a predetermined interphase, and calculates in the electrical angles  $\phi$   $0-\pi$  or one range of  $\pi - 2\pi$  and the processing (the 2nd step) which judges whether an electrical angle belongs to which range are independent, each step is explained in order below.

[0065] An electrical potential difference is applied in the range which does not carry out magnetic saturation to <example 1-1 of configuration of \*\* 1st of 1st step> each interphase (for example, between U-VW), and a plotting [ measured maximum current  $I_u$ ,  $I_v$ , and  $I_w$  by the current detector 320 thru/or 322, and ]-this thing is shown in drawing 24 . since the current of each interphase has shifted by a unit of 120 degrees, when its attention is paid to zero - 180 electrical angles, it turns out that the relation of the maximum current  $I_u$ ,  $I_v$ , and  $I_w$  of each phase changes by a unit of 30 degrees, and all comes out, and it becomes six kinds of combination. Namely, partition 1 (0 - 30 degrees)  $\rightarrow I_u > I_v > I_w$  partition 2 (30 - 60 degrees)  $\rightarrow I_v > I_u > I_w$  partition 3 (60 - 90 degrees)  $\rightarrow I_v > I_w > I_u$  partition 4 (90 - 120 degrees)  $\rightarrow I_w > I_v > I_u$  partition 5 (120 - 150 degrees)  $\rightarrow I_w > I_u > I_v$  partition 6 (150 - 180 degrees)  $\rightarrow I_u > I_w > I_v$  [0066] In this partition, it can consider that it is the straight line which has middle magnitude among each phase maximum current of each section (for example, the partition 1  $I_v$  and a partition 2  $I_u$  ...), and it can be approximated. If it is this example, the electrical angle  $\phi$  can be searched for by the degree type (4), being able to use a slope of a line as  $m$  by the ability using to  $I_n$  the current which carries out straight-line approximation of the average of each phase maximum current in  $I_{av}$  and the  $n$ -th partition.

$$\theta = (n-1) \times 30 + 15 + \text{sgn}(I_{av} - I_n) \times m \quad (4)$$

In addition, they are the  $\text{sgn}=1$ :partitions 1, 3, and 5 and the  $-1$ :partitions 2, 4, and 6 here. That is, in an odd number partition,  $\text{sgn}$  is a value 1, and  $\text{sgn}$  is a value  $-1$  in even partitions. Moreover, in partitions 1 and 4, it is  $I_n = I_w$  in  $I_n = I_v$  and partitions 2 and 5 in  $I_n = I_u$  and partitions 3 and 6.

[0067] In this example, the overall average  $I_{av}$  of a current was 110A. As an example, supposing it is  $I_u = 130A$ ,  $I_v = 95A$ , and  $I_w = 112A$ , the size relation ( $I_u > I_w > I_v$ ) of these values will show that it is a partition 6, a formula (4) will be calculated as  $n = 6$  and  $\text{sgn} = -1$ , and  $\theta = 168$  will be obtained. In addition, in this example, the average of an actual measurement is set to  $(130 + 95 + 112) / 3 = 112.3$ , and is not in agreement with average 110A supposed beforehand. In this case, you may calculate using the actual average. In this case, it is set to  $\theta = 165$  in the above-mentioned example.

[0068] In the above-mentioned example, although each phase maximum current  $I_u$ ,  $I_v$ , and  $I_w$  was surveyed, when the overall average  $I_{av}$  is calculated from control, only  $I_u$  and  $I_w$  are surveyed and  $I_v$  does not interfere as what is calculated by count from  $I_u$  and  $I_w$  which were surveyed, and the average  $I_{av}$ . In this case, one which is not used for an observation three current detectors 320 thru/or among 322 becomes unnecessary.

[0069] In the case of the signal of the <example 1-2 of configuration of \*\* 2nd of 1st step> cosine wave, near the include angle 0, it is known that the approximate expression of  $\theta^{**} (\tan 2\theta) / 2$  in a phase will be realized. Since that phase has shifted by a unit of 120 degrees, each phase maximum current  $I_u$ ,  $I_v$ , and  $I_w$  will obtain a degree type (5), if this approximate expression is developed by each phase current.

$\theta^{**} (\tan 2\theta) / 2 \text{ right-hand-side molecule} = \sqrt{3} (I_B - I_C)$

Right-hand-side denominator =  $2 \{ 2I_A - (I_B + I_C) \} = 6I_A \quad (5)$

$I_A$  is deflection with the average of the interphase current on which the phase has taken extremal value near 0 times here, and  $I_B$  and  $I_C$  are deflection with the average of other interphase currents. In addition, when one interphase current has taken extremal value, the sign (\*\*) of the deflection from the average of other two interphase currents becomes the same. The sign of deflection  $I_u$  from the average  $I_{av}$  of each interphase currents  $I_u$ ,  $I_v$ , and  $I_w$ ,  $I_v$ , and  $I_w$  and divisional relation are shown below.

[0070]

Partition  $I_u$   $I_v$   $I_w$  partition 1a (-15 - 15 degrees) Forward (extremal value) Negative Negative  
 partition 2a (15 - 45 degrees) Forward Forward Negative (extremal value)  
 Partition 3a (45 - 75 degrees) Negative Forward (extremal value) Negative partition 4a (75 - 105

degrees) Negative (extremal value) Forward Forward partition 5a (105 - 135 degrees) Negative Negative Forward (extremal value)

Partition 6a (135 - 165 degrees) Forward Negative (extremal value) As shown in forward, therefore drawing 25, partition 1a in this example thru/or 6a are by a unit of 30 degrees respectively considering - 15 degree as an origin. The thick wire showed the part used for an approximation calculation within the partition to drawing 25.

[0071] If it calculates using the formula which changed  $I_u$ ,  $I_v$ , and  $I_w$  to the above-mentioned formula (5) every six partitions mentioned above, the electrical angle  $\phi$  can be searched for. The processing to which a phase adds [ whenever /  $30 \times (n-1)$  ] it every to each partition  $n$  of every since a formula (5) is an approximate expression near 0 times is also needed. If the approximate expression for every partition is shown, it will be defined as  $A = I_v - I_w$ ,  $B = I_u - I_v$ , and  $C = I_w - I_u$ ,

区分	近似式
1 a	$\sqrt{3} A / 6 \Delta I_u$
2 a	$30 + \sqrt{3} B / 6 \Delta I_w$
3 a	$60 + \sqrt{3} C / 6 \Delta I_v$
4 a	$90 + \sqrt{3} A / 6 \Delta I_u$
5 a	$120 + \sqrt{3} B / 6 \Delta I_w$
6 a	$180 + \sqrt{3} C / 6 \Delta I_v$

It becomes.

[0072] The 1st step can be calculated by this technique and the electrical angle  $\phi$  can be searched for. Although the part and operation for which a division is needed compared with the example 1-1 of a configuration mentioned above take time amount, it is hard to be influenced by difference of the property of the three phase synchronous motor 40, and the advantage that it is not necessary to measure each parameter beforehand is acquired. Signs that ECU300 performed the above data processing were shown in drawing 26. Processing which carries out short-time impression of the electrical potential difference is first performed to a U-VW interphase so that it may illustrate (step S331). This electrical potential difference is the electrical potential difference and time amount of extent which does not produce magnetic saturation. When an electrical potential difference is moreover impressed to a U-VW interphase, processing which measures the maximum current  $I_u$  which flows to U phase is performed (step S332). The same processing is repeated also about a V-WU interphase and a W-UV interphase (step S333 thru/or 336).

[0073] In this way, the approximate expression (4) mentioned above or the approximation calculation using (5) is performed using the acquired maximum current  $I_u$ ,  $I_v$ , and  $I_w$ , and processing which asks in the range of the electrical angles  $\phi_0 - \pi$  (180 degrees) or  $\pi - 2\pi$  (360 degrees) is performed (step S338). In addition, although the maximum current  $I_u$ ,  $I_v$ , and  $I_w$  of all interphases was searched for, if the average  $I_{av}$  of all currents is known, two maximum current will be searched for and other one will not interfere here as that for which it asks by the operation.

[0074] By the above processing, it was able to calculate as the 1st step in the range of the electrical angles  $\phi_0 - \pi$  (180 degrees) or  $\pi - 2\pi$  (360 degrees). However, now, since it is not decided that the electrical angle of a rotator 50 will be a meaning, the processing (the 2nd step) which specifies this is needed. Then, some examples of this processing of the 2nd step are explained below.

[0075] Although the electrical potential difference impressed to a interphase coil was restricted at the 1st step of <the example 2-1 of the configuration of the 2nd step> so that it might become the magnetic flux of extent which does not carry out magnetic saturation At the 2nd step, the electrical angle  $\phi$  searched for at the 1st step using the asymmetry by magnetic saturation It judges to any it shall belong between whether it belongs to which range of  $0 - \pi$  (180 degrees) or  $\pi$  (180 degrees) -  $2\pi$  (360 degrees), drawing 24 1a, 2a, 3a, 4a, 5a, and 6a, i.e., the partitions shown in 25, partition 1a', 2a', 3a', 4a', 5a', and 6a'. As shown in drawing 27, when the electrical potential difference which carries out magnetic saturation is impressed, the maximum electrical potential differences  $I_{u2}$  which flow to a U-VW interphase are

partition 1a thru/or 6a, and partition 1a' thru/or 6a', and become a different thing. Now, that it is in partition 1a whose theta is  $-15 - 15$  electrical angles, or  $165 - 195$  partitions 1a' presupposes that it was calculated by the example 1-2 of a configuration of the 1st step. In this case, if either of partition 1a or partition 1a' is distinguishable, finally a meaning will be asked for the electrical angle theta in the range of  $0-2\pi$ .

[0076] When it is view at the maximum current  $I_{u2}$  over an electrical potential difference which starts magnetic saturation, the range which maximum current  $I_{u2}$  can take by partition 1a is from Current a to b. On the other hand, in partition 1a', the value from Current d to e can be taken. Therefore, it is a threshold  $I_{ref}$  until from Current b before c. If it prepares, maximum current  $I_{u2}$  will be a threshold  $I_{ref}$ . It can judge to any of partition 1a or 1a' it belongs by whether it is large. Similarly, since the range of the current which can be taken by partition 2a is from Illustration b to c and the range of the current which can be taken by partition 2a' is f from Illustration e, partition 2a and partition 2a' can also be judged by setting up a threshold among Currents c and e based on maximum current  $I_{u2}$ .

[0077] About partition 3a and partition 3a', by maximum current  $I_{u2}$ , since the range which can be taken overlaps, it is undistinguishable. Then, it judges in this case using the maximum current  $I_{v2}$  at the time of impressing an electrical potential difference to a V-WU interphase. Since it has the same relation as the maximum current  $I_{u2}$  in partition 1a, 1a' and partition 2a, and 2a', the maximum current  $I_{v2}$  in partition 3a, 3a' and partition 4a, and 4a' is the same threshold  $I_{ref}$ . By using it, partition 3a and partition 3a' and partition 4a and partition 4a' are distinguishable. Similarly, Partitions 5a and 6a can be judged using maximum current  $I_{w2}$ . In addition, threshold  $I_{ref}$  What is necessary is to measure Currents b, c, d, and e etc. beforehand, and just to calculate the suitable value, if it attaches.

[0078] According to the above view, the flow chart of drawing 28 showed the detail of the processing (step S350,360 of drawing 23) of the 2nd step which ECU300 actually performs. As shown in drawing 28, this manipulation routine is performed following on the 1st step, and judges whether which partition of partition 1a thru/or 6a is distinguished first (step S351). In distinguishing Partitions 1a and 2a, partition 1a', and 2a', next, the electrical potential difference of a magnetic-saturation field is impressed to a U-VW interphase (step S352), and it measures maximum current  $I_{u2}$  (step S353). Similarly, in distinguishing Partitions 3a and 4a, partition 3a', and 4a', the electrical potential difference of a magnetic-saturation field is impressed to a V-WU interphase (step S354), and it measures maximum current  $I_{v2}$  (step S355). In distinguishing Partitions 5a and 6a, partition 5a', and 6a', the electrical potential difference of a magnetic-saturation field is impressed to a W-UV interphase (step S356), and it measures maximum current  $I_{w2}$  (step S357).

[0079] Next, the measured maximum current is a threshold  $I_{ref}$ . It judges whether it is large (step S358), and in being large, it judges with the partitions which it was going to judge being 1a, 2a, 3a', 4a', and 5a and 6a, respectively (step S359a). On the other hand, maximum current is a threshold  $I_{ref}$ . If small, it will judge with the partitions which it was going to judge being 1a', 2a', 3a and 4a, 5a', and 6a' (step S359b). In this way, since the partition to which an electrical angle belongs is specified, this decision and value of the electrical angle searched for at the 1st step are combined, and processing which finally determines the electrical angle theta is performed (step S360).

[0080] According to what combined the example 1-1 of a configuration of the 3rd example explained above, or 1-2 and Example 2-1, an electrical angle can be calculated in the range of either  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$  according to the current of extent which does not serve as magnetic saturation beforehand, then the big current for a judgment can be passed, and an electrical angle can be specified. Therefore, the stopped electrical angle of the three phase synchronous motor 40 can be measured with high precision and easily. Moreover, since it can substitute passing a high current for once, a high current is repeatedly passed to the three phase synchronous motor 40, and it is not said that the property is degraded. Moreover, the allophone heard when a high current is passed also has the advantage of ending at once for every measurement of an electrical angle.

[0081] The <example 2-2 of a configuration of the 2nd step>, next other examples of a configuration which specify the partition in which the electrical angle phi exists are explained. Threshold  $I_{ref}$  same about Partitions 1a and 2a in the above-mentioned example 2-1 of a configuration It judged by using

(the same is said of Partitions 3a and 4a and the partitions 5a and 6a). In this case, the relation of  $c > d$  had to be materialized between the minimum value  $c$  of partition 2a, and the maximum  $d$  of partition 1a', and the current which is passed to a interphase for this reason was also to some extent large. So, in this example 2-2 of a configuration, the threshold of a judgment shall be separately prepared by the odd number partitions 1a, 3a, and 5a and the even number partitions 2a, 4a, and 6a. In this case, it is sufficient, if the threshold  $I_{ref1}$  in an odd number partition satisfies  $b > I_{ref1} > d$  and the threshold  $I_{ref2}$  in an even number partition satisfies  $c > I_{ref2} > e$  on the other hand, respectively. Therefore, it is not necessary to be  $c > d$ , and as shown in [drawing 29](#), each interphase current of the field of magnetic saturation can be made small. Consequently, the allophone by which have been generated when a pulse voltage is impressed to the coil of a interphase and a current is passed can be made small. Moreover, the possibility of the demagnetization to permanent magnets 51-54, the possibility of the electromagnetic interference at the time of pulse-voltage impression, etc. can be reduced.

[0082] The technique of reducing the current further for a judgment is examined to the <example 2-3 of configuration of 2nd step> above-mentioned example. As shown in [drawing 27](#) and 29, when it is going to distinguish partition 1a and partition 1a', the minimum value  $b$  of the maximum current  $I_{u2}$  in partition 1a differs from the maximum  $d$  in partition 1a' greatly. Therefore, when it is going to distinguish partition 1a and partition 1a', even if it reduces considerably the maximum or impression time amount of an electrical potential difference to impress, it is possible to distinguish both from the measured maximum current  $I_{u3}$ . On the other hand, in partition 2a and partition 2a',  $c > e$  cannot be satisfied if a to some extent big current is not passed. Then, in this example, the impression time amount of the electrical potential difference impressed for every partition which it is going to distinguish is changed, and when the time amount of the electrical potential difference impressed to each interphase when it is judged that it is the judgment about the odd number partitions 1a, 3a, and 5a is judged to be short and to be the judgment about another side and Partitions 2a, 4a, and 6a, let time amount of the electrical potential difference impressed to each interphase be the usual value. Consequently, as shown in [drawing 30](#), the maximum of the current passed by the coil of a interphase can be held down low, and the possibility of generating of an allophone, demagnetization, and an electromagnetic interference etc. is reduced one layer of nearby [ any ]. It is suitable from the point of demagnetization prevention that the current in this partition can be especially made small in a synchronous motor 40 since the corresponding permanent magnet 51 of a location thru/or 54 will be demagnetized most, if the current in the location of partition 1a with big Rota is passed. Moreover, it is [ as opposed to / in this case / the example 2-2 of a configuration ] a threshold  $I_{ref}$ . It also has the advantage that it is possible to manage one. In addition, although not explained especially, in distinction of Partitions 3a and 4a, partition 3a', and 4a', a sink and the maximum current  $I_{v3}$  in that case are measured, a current is judged to it at a V-WU interphase, in distinction of Partitions 5a and 6a, partition 5a', and 6a', a sink and the maximum current  $I_{w3}$  in that case are measured, and a current is judged to it at a W-UV interphase.

[0083] An example which surveyed maximum current  $I_{u+}$  at the time of carrying out predetermined time impression of the predetermined electrical potential difference, having used forward and a V phase W phase as negative for U phase at the <example 2-4 of configuration of 2nd step> U-VW interphase was shown in the [drawing 31](#) upper case. On the other hand, maximum current  $I_{u-}$  at the time of making U phase forward at negative and a V phase W phase was shown in the [drawing 31](#) lower berth. The polarity was replaced and [drawing 32](#) drew this maximum current  $I_{u-}$  in piles with maximum current  $I_{u+}$ . To six partitions 1 shown in the example 1-1 of a configuration of the 1st step thru/or 6, maximum current  $I_{u+}$  exceeds maximum current  $I_{u-}$  by partition 1 thru/or 3, and partition 4' thru/or 6', and is less than maximum current  $I_{u-}$  in partition 4 thru/or 6, and partition 1' thru/or 3' so that it may illustrate. therefore, if both maximum current  $I_{u+}$  and  $I_{u-}$  are measured, a partition 1 and 1' (2, 2', and the following -- the same) can be distinguished. In this case, the manipulation routine was shown in [drawing 33](#). Theoretically, although divisional distinction is possible only at maximum current  $I_{u+}$  about a U-VW interphase, and  $I_{u-}$ , it is the thing which distinguish and for which the phase of a distinction current is changed for every partition, and it becomes possible to reduce the current passed to a interphase. That is, it is because the deflection of  $I_{u+}$  and  $I_{u-}$  in partitions 1 and 6 is large compared with other partitions

if it is maximum current  $I_{u+}$  shown in drawing 32, and  $I_{u-}$ . Therefore, a W-UV interphase shall be used about partitions 4 and 5, using a V-WU interphase about partitions 2 and 3, using a U-VW interphase about partitions 1 and 6.

[0084] When the manipulation routine of the 2nd step shown in drawing 33 is started and the partition which it is going to judge and (step S371) distinguish about the partition distinguished first is 1 or 6, an electrical potential difference is impressed, using forward and a V phase W phase as negative for U phase at a U-VW interphase (step S372a), and the maximum current  $I_{u+}$  is measured (step S373a). Then, positive/negative of the electrical potential difference to impress is made reverse, that is, an electrical potential difference is impressed to a VW-U interphase (step S374a), and the maximum current  $I_{u-}$  is measured (step S375a). Then, the size of both absolute value is distinguished (step S376a), and it judges with their being a partition 1 or a partition 6, if  $I_{u+}$  is larger than  $I_{u-}$  (step S377a), and if  $I_{u+}$  is smaller than  $I_{u-}$ , it will judge with their being partition 1' or 6' (step S378a). In this section, the deflection of both maximum current  $I_{u+}$  and  $I_{u-}$  can distinguish a partition exactly, even if the current to pass is small, since it is large.

[0085] Similarly, about partitions 2 and 3, impress an electrical potential difference to a V-WU interphase and a WU-V interphase, respectively, and maximum current  $I_{v+}$  and  $I_{v-}$  are measured (step S372b thru/or 375b). The size of the absolute value is distinguished (step S376b), and, in  $I_{v+} > I_{v-}$ , it judges with partition 2' and 3' (step S377b), and, in  $I_{v+} < I_{v-}$ , is judged as partitions 2 and 3 (step S378b). On the other hand, about partitions 4 and 5, impress an electrical potential difference to a W-UV interphase and a UV-W interphase, and maximum current  $I_{w+}$  and  $I_{w-}$  are measured (step S372c thru/or 375c). The size of the absolute value is distinguished (step S376c), and, in  $I_{w+} > I_{w-}$ , it judges with partitions 4 and 5 (step S377c), and, in  $I_{w+} < I_{w-}$ , is judged as partition 4' and 5' (step S378c). All and the case of combining with the electrical angle  $\phi$  calculated by the 1st step, and determining the final electrical angle  $\theta$  ( $0-2\pi$ ) are the same as the case of partitions 1 and 6 (step S360).

[0086] According to the example explained above, the exception of partition 1 thru/or 6, or partition 1' thru/or 6' can be distinguished only due to the size absolute value of maximum current by applying the electrical potential difference of positive/negative to a specific interphase. Therefore, it did not need to be said that a threshold etc. was measured beforehand, and was prepared or the electrical potential difference and time amount to impress were controlled to a precision. Moreover, since the magnitude of the current passed to a interphase can also be substituted for extent which is sufficient for distinguishing size relation, generating of an allophone is suppressed and it becomes possible to also reduce generating of demagnetization or electromagnetic interference. In the example, the current passed for electrical angle detection was able to be made about [ of the example 2-3 of a configuration ] into 2/3 using the same three phase synchronous motor 40. In addition, in the above-mentioned example, 0 to 30 degrees, although \*\*\*\*ed to ... 30 to 60 degrees, even if a partition uses the partitions [ -15 to 15 degrees ] 1a, 2a, and 3a 15 to 45 degrees ... used in Example 1-2, and ..., it does not interfere. It is also suitable to adopt the partition which is easy to use according to the technique of the approximation calculation in the 1st step when simplifying the whole algorithm. Changing the partition used at the 1st step and the partition used at the 2nd step from the first does not interfere, either.

[0087] In the 3rd example, detection of an electrical angle was divided into the 1st step and the 2nd step, and two or more examples of a configuration were explained about each step. The example of a configuration of these 1st and 2nd steps can be combined freely, and can be carried out. In addition, in the example 1-1 of a configuration, and 2-4, drawing 34 showed processing of the 1st step on a time-axis, and the 2nd step. As the 1st step, a predetermined electrical potential difference is applied to each interphase one by one, and sequential detection of the maximum current of U phase, V phase, and W phase is carried out. In this case, the current which flowed to each phase will wait to fall to the level which does not pose a measurement top problem, will impress an electrical potential difference to the following interphase, and will measure the maximum current of the following phase. Moreover, at the 2nd step, since a bigger current than the current usually passed at the 1st step is passed, after impressing an electrical potential difference to one interphase before impressing an electrical potential difference to the following interphase, considerable time amount is needed. When the section of the 1st step shown in

drawing 34 and the section of the 2nd step are completed, one measurement of an electrical angle is completed. When the three phase synchronous motor 40 has stopped, the electrical angle at the time of starting will be detected now.

[0088] Next, the 4th example of this invention is explained. The outline configuration of the motor control equipment 390 containing the electrical angle detection equipment of this example is shown in drawing 35. This motor control equipment 390 so that it may illustrate like the 1st, 2nd, and 3rd example. The drive current of the three phase synchronous motor 40. The current of the motor current control circuit 400 to control, U phase, and V phase. The current detector 402, 404 to detect, the current-torque conversion machine 410 which converts the output torque of a motor 40 from the detected current, the inductance type electrical angle detecting element 415 which performs electrical angle detection of the inductance type explained in the 2nd example, and a reverse electromotive voltage are used. While asking for a rotational frequency from the signal of the reverse electromotive voltage type electrical angle detecting element 420 which detects an electrical angle, and an electrical angle, it consists of hysteresis circuit 440 grades which add a hysteresis to this and drive a transfer contact 445. In addition, what is necessary is just to form the current detector of W phase, in detecting each current of U, V, and W phase, as the 3rd example explained although drawing 34 showed only 402, 404 which detects the current of U phase and V phase as a current detector.

[0089] The inductance type electrical angle detecting element 415, the reverse electromotive voltage type electrical angle detecting element 420, the hysteresis circuit 440, and the motor current control circuit 400 are constituted in fact as an arithmetic logic operation circuit which used the microprocessor, and are performing processing shown in drawing 36. This processing is explained briefly. Starting of this processing performs decision of being more than the judgment rotational frequency N for the rotational frequency operation value Nh first (step S500). When the rotational frequency operation value Nh is not more than the judgment rotational frequency N, while presuming the location of a rotator (Rota), i.e., an electrical angle, using the inductance type electrical angle detecting element 415, processing which assigns a value -50 to Variable H is performed (step S510).

[0090] On the other hand, when the rotational frequency operation value Nh is more than the judgment rotational frequency N, while presuming the location of a rotator 50 using the reverse electromotive voltage type electrical angle detecting element 420, processing which assigns a value +50 to Variable H is performed (step S520). In any case, processing which calculates a current rotational frequency is performed after that (step S530). A rotational frequency is called for by differentiating a current electrical angle. the difference of the electrical angle signal in predetermined time although differential processing is also realizable with hardware -- it can also ask from a value. Then, processing which applies the value of Variable H to the current rotational frequency for which it asked at step S530, and calculates the rotational frequency operation value Nh is performed (step S540), and the current passed to each phase of a three phase synchronous motor based on an electrical angle and a torque command value is controlled (step S550). The above processing is repeated.

[0091] According to this example explained above, based on the rotational frequency of the three phase synchronous motor 40, the detection approach can be switched and an electrical angle can be searched for. This situation was shown in drawing 37. Once the rotational frequency of the three phase synchronous motor 40 exceeds the judgment rotational frequency  $N+50$ , a counter voltage system shall detect, and unless it is less than the judgment rotational frequency  $N-50$  after that, it does not switch to an inductance method. That is, the hysteresis of 50 [ \*\* ] is given to the change of the detection approach of an electrical angle, and it considers so that the change of a detection method may not occur by high frequency near the judgment rotational frequency.

[0092] Here, the detection method of an electrical angle is switched at the rotational frequency of the three phase synchronous motor 40 because change of the effectiveness of the motor at a rotational frequency changes with detection methods. The continuous line J showed effectiveness in case an inductance method detects an electrical angle to drawing 38, and the broken line B showed effectiveness in case a counter voltage system detects. In the low rotational frequency field where the reverse electromotive voltage obtained is low in the field where the rotational frequency of a rotator is

low, control of a motor becomes impossible the case of a counter voltage system. This is for the phase conditions of a current over the location of permanent magnets 51-54 to collapse, and it becomes impossible for the three phase synchronous motor 40 to generate torque in stability in this case. It was possible, although the current is flowing when the worst when a motor output was not obtained, or also when a rotator 50 was reversed. Therefore, as a broken line shows to drawing 38, in a low rotational frequency field, the effectiveness of the three phase synchronous motor 40 will become low.

[0093] On the other hand, by the inductance method, an electrical angle is efficiently detectable in the field from a idle state to a predetermined rotational frequency. If a rotational frequency rises, since the frequency of the alternating current for a drive becomes high, the relative difference with the high frequency component (refer to drawing 12) superimposed on this alternating current for a drive will become small. Therefore, the number of the RF pulses included in one revolution (360 degrees) of a rotator 50 decreases, so that a rotational frequency becomes high, and the detection precision of the rotation location (electrical angle) of a rotator 50 falls. Therefore, by asking for the intersection of two graphs shown in drawing 38 experimentally, and switching the detection method of an electrical angle near [ this ] the rotational frequency, the range of a total rotational frequency can be covered and the electrical angle of the three phase synchronous motor 40 can be detected efficiently. And in this example, since the hysteresis is prepared in the change rotational frequency of a detection method, it has not been said that a change arises again immediately after switching the detection approach according to the difference in detection precision.

[0094] The inductance type electrical angle detecting element 415 which detects an electrical angle with an inductance method in the above-mentioned example is the same configuration as the 2nd example. on the other hand, the configuration of the reverse electromotive voltage type electrical angle detecting element 420 is well-known (for example, Heisei 2 semi-conductor power conversion study group data SEP- 90-21 "implementation of a brushless DC motor control system without a position transducer"). Drawing 39 expressed the configuration of this example to the detail as a block diagram further. In this example of a configuration, the motor current control circuit 500 The current of U phase read as digital data with A/D converter 502, and V phase While changing into the data of q shaft and d shaft, performing proportionality / integral (PI) control from this and a torque command value, changing the signal of the three phase of U, V, and W and changing a result into a voltage signal further shortly Pulse width modulation is applied, dead-time control is added, and it is outputting to each coil of the three phase synchronous motor 40.

[0095] At this time, in being under rotation above a predetermined rotational frequency, it calculates an electrical angle with the counter voltage system electrical angle computing element 520. While this operation calculates the rate estimate which is a value which is explained to the above-mentioned reference in detail, and differentiated the electrical angle theta based on the electrical-potential-difference value of U, V, and W of each phase currents  $I_u$  and  $I_v$  and the motor current control circuit 500 interior difference with presumed electrical-potential-difference [ of  $v_{\gamma}$  ] ' which calculated  $v_{\gamma}$  of voltage signals of gamma shaft orientations, and was presumed from each phase signals  $I_u$  and  $I_v$  -- while PI operation is performed to  $**\gamma$  and the sign of rate estimate determines an electrical angle rate, a feedback current is computed based on this and this is outputted to the motor current control circuit 500. In this way, based on a reverse electromotive voltage, an electrical angle (here electrical angle rate) can be searched for during rotation of a rotator 50. In addition, it integrates with an electrical angle rate, and when the rotational frequency of the circuit and motor which change a three phase into d and q shaft signal as an electrical angle signal is below a predetermined rotational frequency, it is outputted to the circuit 515 for impressing a pulse voltage a predetermined period.

[0096] In being below a predetermined rotational frequency while the rotator 50 is standing it still or, based on each phase currents  $I_u$  and  $I_v$ , it calculates an electrical angle. The inductance method electrical angle computing element 512 performs this operation by referring to the electrical angle table 522. In this way, the electrical angle signal searched for is alternatively adopted by the rotational frequency with the result of an operation of the counter voltage system electrical angle computing element 520, and is used for control of the current for a drive of the motor mentioned above.

[0097] Next, the 5th example of this invention is explained. This example the configuration as detection equipment of an electrical angle It is the same (refer to drawing 22 ) with the 3rd example. As the whole motor control equipment Like the 4th example, in a low rotational frequency field, an electrical angle detects using an inductance, starting and rotation of the three phase synchronous motor 40 are controlled, and rotation of the three phase synchronous motor 40 is controlled above a predetermined rotational frequency, detecting an electrical angle using a reverse electromotive voltage.

[0098] Although the configuration of the 3rd example was taken as the technique of detecting an electrical angle using an inductance in this example, in case an electrical potential difference is impressed to a interphase in the 1st or 2nd step for detection of an electrical angle ( drawing 26 , 28 grades), as shown in drawing 40 , processing (step S610) which impresses the reverse voltage corresponding to the electrical potential difference applied immediately after impression (step S600) of an interphase voltage to the same interphase is performed. That is, by having applied the electrical potential difference to the coil and having passed the current, the current on which after termination of impression of an electrical potential difference remains as a transient response is compulsorily reduced by applying reverse voltage, and a current is quickly completed as 0. This situation was shown in drawing 41 . Here, impression of reverse voltage is made when an absolute value outputs only the time amount t2 with a polarity it is equal and equal to the time amount t1 which applied the reverse electrical potential difference for measurement to a interphase coil. In addition, although a current is converged on about 0 by impression of reverse voltage with an equal absolute value, since the case where originate in fluctuation of supply voltage, fluctuation of the impression time amount under the effect of a dead time, etc., and it is not being completely completed as 0 by the current can be considered, impression of the electrical potential difference for the measurement to the following interphase shall be performed after setting only fixed time amount t3. The magnitude and impression time amount of reverse voltage can be changed suitably.

[0099] The current which flows in a coil can be quickly completed by impressing reverse voltage immediately after the electrical potential difference for measurement of maximum current impressing, and measuring maximum current, as explained above, and time amount until impression of the following electrical potential difference is attained can be shortened sharply. According to this example, the time amount which detection of the electrical angle of Rota takes was able to be reduced about [ conventional ] to 1/3 so that it might be understood, if drawing 41 was compared with drawing 34 . Consequently, it became the case which needs to repeat and measure an electrical angle, i.e., the thing which detection of the electrical angle under low-speed rotation can complete in a short time, and electrical angle measurement of this invention which used the inductance to the rotational frequency higher than before was attained. Therefore, in the equipment which detects an electrical angle using an inductance to a predetermined rotational frequency, the setting range of the rotational frequency switched to detection by back EMF became large like the 4th example, and the degree of freedom of a design also improved.

[0100] Next, the 6th example of this invention is explained. The electrical angle detection equipment of the 6th example has the same configuration as the 5th example, and is performing detection of the electrical angle of Rota at the time of starting like the 5th example by the example 1-1 of a configuration of the 1st step of the 3rd example, and the example 2-1 of a configuration of the 2nd step. The maximum engine speed of the three phase synchronous motor 40 of \*\*\*\*\* is 9000rpm, and, generally detection of the electrical angle by back EMF is enabled to 1/5 of a maximum engine speed, i.e., 180rpm. Therefore, if an electrical angle is detectable by the technique of having used the inductance to 180rpm, it will become possible to detect an electrical angle from a idle state to a maximum engine speed. Since the time amount which one rotation of a rotator 50 takes in the case of 180rpm is  $180\text{rpm} = \text{per second } 3 \text{ rotation}$ , it is  $1 / 3$  seconds. On the other hand, if time amount which the 1st step takes that the time amount taken to measure maximum current Iu, Iv, and Iw about each of U phase, V phase, and W phase is completed to 50msec(s) and the 2nd step is set to 120msec(s) as shown in drawing 34 , detection of an electrical angle can be performed only 2 or 3 times per rotation of Rota. measuring an electrical angle with a sufficient precision on this condition, since the electrical potential difference for a drive must be



impressed to a interphase in fact, carrying out multiple-times measurement of the electrical angle among 1 rotations of Rota, and things are very difficult. [ the electrical potential difference for a drive ]  
 [0101] So, in this example, as shown in drawing 42 , in the interruption handling routine started every 50msec, Flag F (initial value = 0) is judged first, a rotator 50 judges whether it is under [ halt ] \*\*\*\*\* (they are F= 0 and step S700 during a halt), and when it is judged that a rotator 50 is stopping, processing which carries out the mask of the interrupt first is performed (step S710). Although processing of the 1st step and the 2nd step is performed continuously, since 120 msec is needed, the mask of the interrupt is carried out until detection of an electrical angle is completed. Then, the 1st step is processed and the electrical angle phi (electrical angle in either within the limits of 0-pi and pi-2pi) is calculated (step S720). Then, processing which specifies whether processing by the 2nd step is performed and a rotator 50 exists in which range of 0-pi or pi - 2pi is performed (step S730), and processing which detects the electrical angle theta is performed from the above step [ 1st ] and the 2nd step (step S740). Then, while setting a value 1 as Flag F, processing of which an interrupt mask is canceled is performed (step S750). By the above, detection of the electrical angle theta when the rotator 50 has stopped is ended, and this routine is ended.

[0102] in this way, the processing which decision at step S710 serves as "NO", and calculates the electrical angle phi by the 1st step since Flag F is set as a value 1 once detecting the electrical angle theta of the rotator 50 under halt -- carrying out (step S760) -- the difference from the last value of this electrical angle phi -- processing which updates the electrical angle theta is performed using \*\*phi (step S770). That is, once the electrical angle theta of a rotator 50 is detected, only the 1st step will be repeatedly performed at intervals of about 50 msec extent, and the electrical angle theta will be updated using a changed part of the calculated electrical angle phi. In the case of 180rpm, if it is 50msec(s), angle of rotation of the rotator 50 in the meantime will be  $50 \times 10^{-3} \times 360\text{-degree} \times 180\text{rpm} / 60 = 54$  degrees, and will not exceed 180 degrees. Therefore, if processing of the 1st step is performed at intervals of 50msec once detecting the electrical angle theta, it is possible to mistake in any a rotator 50 shall exist between 0-pi (180 degrees) or pi - 2pi (360 degrees), and to judge that there is nothing. Consequently, processing required for detection of an electrical angle serves as only the 1st step, and the time amount which detection of an electrical angle takes is shortened by 2 by about 1/.

[0103] As explained above, once searching for the electrical angle theta uniquely according to the electrical angle detection equipment of the 6th example, the processing of an electrical angle required for detecting can be shortened extremely. Therefore, time amount is taken by measurement of an electrical angle during the roll control of the three phase synchronous motor 40, and it is not said inadequate that control becomes. Consequently, the rotational frequency of the change to measurement of an electrical angle by the reverse electromotive voltage can be set up highly, and the degree of freedom on a design also improves.

[0104] Although some examples of this invention were explained above, things of this invention which can be carried out in the mode which becomes various within limits which do not deviate from the summary of this invention, such as a configuration which it is not limited at all to such an example, and was applied to synchronous motors other than a three phase, are natural.

[0105]

[Effect of the Invention] The outstanding effectiveness that an electrical angle can detect with a sufficient precision when especially a motor is quiescence or a low rotational frequency, since it asks for the location of a rotator, i.e., an electrical angle, with reference to the behavior of a current and the relation of an electrical angle which the 1st electrical angle detection equipment of this invention detected the behavior of an electrical angle and at least two currents which become settled with the inductance of the coil which has correlation, and were memorized beforehand as having explain above does so. For this reason, even if it is the thing which drives a synchronous motor using this, then the motor which has stopped, for example, this can be started to stability towards desired. Consequently, useless power is not consumed.

[0106] Moreover, based on the behavior of the current which flows when an electrical potential difference is impressed to class doubling of a polyphase, by the approximation calculation, the 2nd

electrical angle detection equipment of this invention is specifying whether an electrical angle belonging an electrical angle to which this section by calculating the electrical angle in the section of either  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$ , and detects the electrical angle of Rota as a result. Therefore, the outstanding effectiveness that an electrical angle can be easily searched for by the simple configuration is done so.

[0107] Furthermore, the 3rd electrical angle detection equipment of this invention is set to the 2nd electrical angle detection equipment which calculates an electrical angle by the approximation calculation. Since the distinction is performed using the conditions used as that from which it has the description in the configuration which judges whether an electrical angle belongs to which the section to  $0-\pi$  or  $\pi-2\pi$ , and the include angle of Rota and the behavior of a current differ by  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$  The outstanding effectiveness that an electrical angle is finally detectable with a simple configuration with a sufficient precision is done so.

[0108] Furthermore, according to the 4th electrical angle detection equipment of this invention, once detecting and specifying an electrical angle in the range of  $0-2\pi$ , an electrical angle is searched for within the limits of either  $0-\pi$  or  $\pi - 2\pi$ , and this updates an electrical angle. Therefore, an electrical angle can be searched for by very simple processing, time amount is taken by detection of an electrical angle during control of the synchronous motor under low-speed rotation, and the outstanding effectiveness of it not being said inadequate that control becomes is done so.

[0109] Moreover, in the field as for which the rotator is carrying out halt or low-speed rotation, except this field, the driving gear of the synchronous motor of this invention detects an electrical angle based on a reverse electromotive voltage, and, thereby, impresses the electrical potential difference for a drive to a coil while it searches for an electrical angle using a difference of an inductance. Therefore, an electrical angle's being detectable with a sufficient precision from a idle state to a high rotational frequency field and a large field is covered, and the outstanding effectiveness that efficient motor control is realizable is done so.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

### [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the block diagram showing the outline configuration of the 1st example of this invention.

[Drawing 2] It is the sectional view showing the structure of the three phase synchronous motor 40 incorporating the stator 30 of an example.

[Drawing 3] It is the end view showing the relation of the stator 30 of the three phase synchronous motor 40 and rotator 50 which were used in the example.

[Drawing 4] It is the explanatory view showing the equal circuit of the three phase synchronous motor in an example.

[Drawing 5] It is the graph which shows the transient response of the U phase current  $I_u$  at the time of impressing an electrical potential difference  $E_1$  to a U-VW interphase (t).

[Drawing 6] It is the graph which shows the inductance of a coil, and relation with the electrical angle  $\theta$ .

[Drawing 7] It is the graph which shows the relation of the inductance and maximum current in a transient response.

[Drawing 8] It is the flow chart which shows the electrical angle detection manipulation routine in the 1st example.

[Drawing 9] It is the block diagram showing the outline configuration of the motor control equipment 250 containing the electrical angle detection equipment as the 2nd example.

[Drawing 10] It is the graph which illustrates the electrical potential difference  $V_b$  for a drive in the 2nd example.

[Drawing 11] It is the graph which illustrates the RF signal  $V_h$  superimposed on the electrical potential difference for a drive.

[Drawing 12] It is the graph which illustrates the voltage signal  $V_b$  on which it was superimposed.

[Drawing 13] It is the graph which illustrates the output signal  $V_s$  of a current detector.

[Drawing 14] It is the graph which illustrates the output signal \*\*\*\* of a band pass filter.

[Drawing 15] It is the graph which illustrates the output signal  $V_e$  of an envelope detecting element.

[Drawing 16] It is the flow chart which shows the electrical angle detection manipulation routine in the 2nd example.

[Drawing 17] It is the graph which illustrates the relation between the electrical angle  $\theta$  and the current amplitude  $I_s$ .

[Drawing 18] It is the graph which shows other examples of the electrical potential difference impressed to a motor.

[Drawing 19] It is the graph which shows the relation between an electrical angle, an inductance, and a current.

[Drawing 20] It is the graph which shows the magnetic properties in the magnetic circuit of a three phase synchronous motor.

[Drawing 21] It is the explanatory view developing and showing the relation between Rota of the three

phase synchronous motor 40, and a stator on a straight line.

[Drawing 22] It is the outline block diagram of the motor control equipment containing the electrical angle detection equipment as the 3rd example.

[Drawing 23] It is the flow chart which shows the outline of the processing in the 3rd example.

[Drawing 24] It is a graph explaining the technique of the approximation calculation of the 1st step.

[Drawing 25] It is a graph explaining the technique of other approximation calculations of the 1st step.

[Drawing 26] It is the flow chart which illustrates the detail of processing of the 1st step.

[Drawing 27] It is a graph explaining the 1st technique of the 2nd step.

[Drawing 28] It is the flow chart which shows an example of the 2nd step.

[Drawing 29] It is a graph explaining the 2nd technique of the 2nd step.

[Drawing 30] It is a graph explaining the 3rd technique of the 2nd step.

[Drawing 31] It is a graph explaining the 4th technique of the 2nd step.

[Drawing 32] It is the graph which illustrates the relation between maximum current  $I_{u+}$  and  $I_{u-}$ .

[Drawing 33] It is the flow chart which shows the manipulation routine of the 2nd step by the 4th technique.

[Drawing 34] It is the graph which develops and shows processing of the 1st and 2nd step on a time-axis.

[Drawing 35] It is the block diagram showing the outline configuration of the motor control equipment 390 as the 4th example.

[Drawing 36] It is the flow chart which shows the electrical angle detection manipulation routine in the 4th example.

[Drawing 37] It is the explanatory view which illustrates the situation of a change of the detection method at a rotational frequency.

[Drawing 38] It is the graph which shows the relation between a rotational frequency and the effectiveness of a motor.

[Drawing 39] It is the block diagram showing the example of a design of the motor control equipment 390 of the 4th example.

[Drawing 40] It is the flow chart which shows the important section of the processing in the 5th example.

[Drawing 41] It is the graph which shows the relation between the applied voltage in the 5th example, and the flowing current along with a time-axis.

[Drawing 42] It is the flow chart which shows interrupt processing in the 6th example.

[Description of Notations]

10 -- Motor control equipment

20 -- Stator

22 -- Teeth

24 -- Slot

30 -- Stator

32 -- Stator coil

34 -- Bolt

36 -- Bolthole

40 -- Three phase synchronous motor

50 -- Rotator

52 -- Permanent magnet

55 -- Revolving shaft

57 -- Rota

60 -- Case

61 62 -- Bearing

71 -- Salient pole

100 -- Motor control circuit

100 -- Motor current control circuit

102,104 -- Current detector  
110 -- Torque conversion machine  
112,114 -- ADC  
120 -- CPU  
122 -- Memory  
130 -- Electrical-potential-difference impression section  
250 -- Motor control equipment  
260 -- RF generating section  
262,264 -- Band pass filter  
272,274 -- Envelope detecting element  
300 -- ECU  
310 -- Inverter  
390 -- Motor control equipment  
400 -- Motor current control circuit  
402,404 -- Current detector  
410 -- Torque conversion machine  
415 -- Inductance type electrical angle detecting element  
420 -- Reverse electromotive voltage type electrical angle detecting element  
440 -- Hysteresis circuit  
445 -- Transfer contact  
500 -- Motor current control circuit  
502 -- A/D converter  
512 -- Inductance method electrical angle computing element  
515 -- Circuit  
520 -- Counter voltage system electrical angle computing element  
522 -- Electrical angle table

---

[Translation done.]

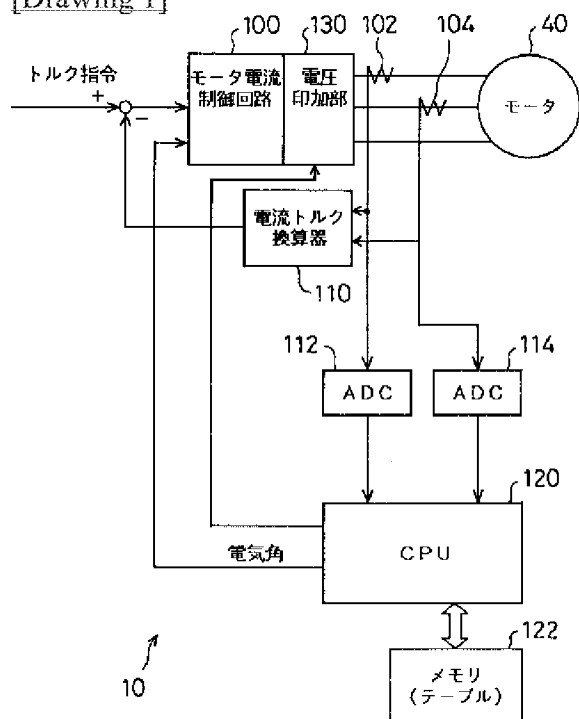
## \* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

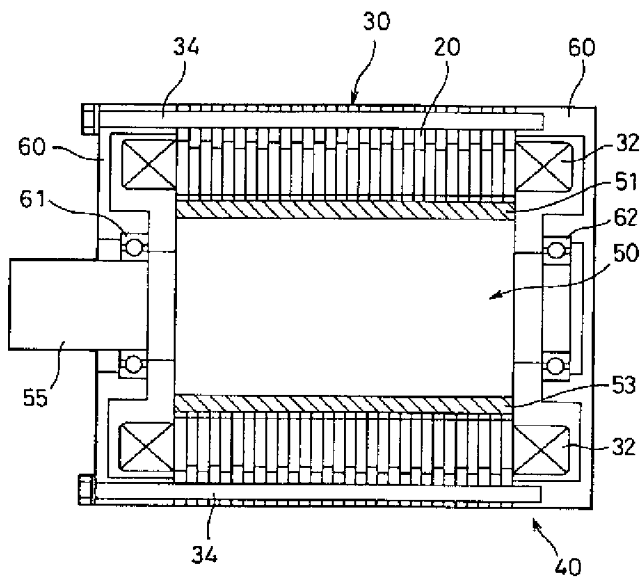
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

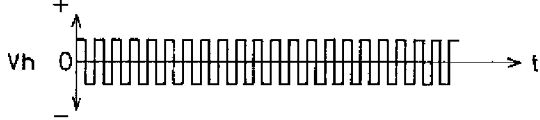
[Drawing 1]



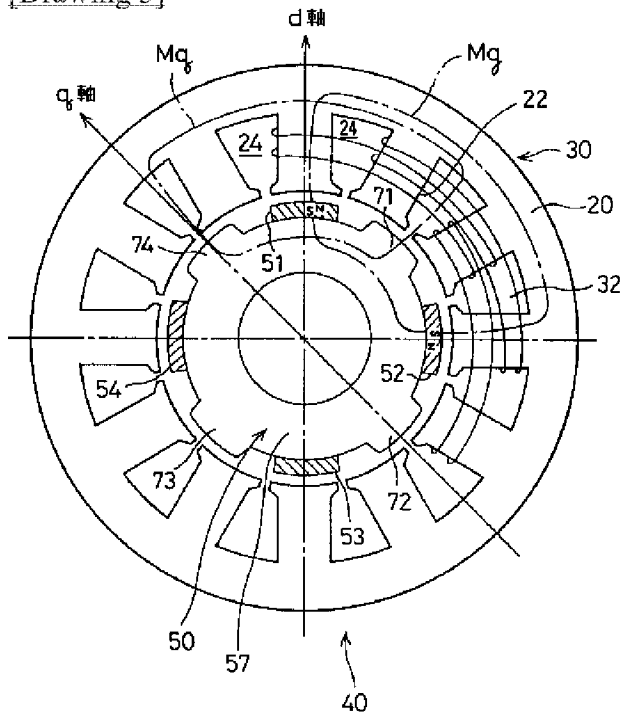
[Drawing 2]



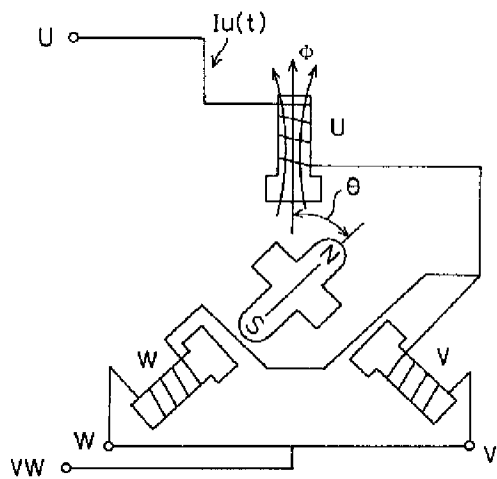
[Drawing 11]



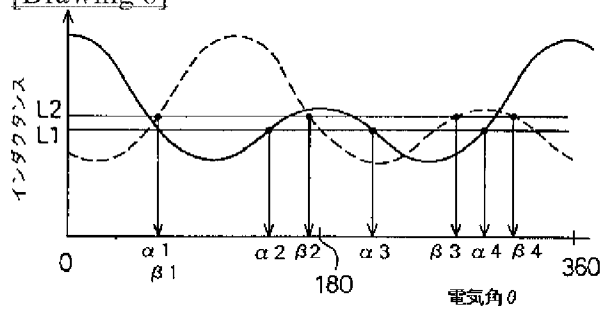
[Drawing 3]



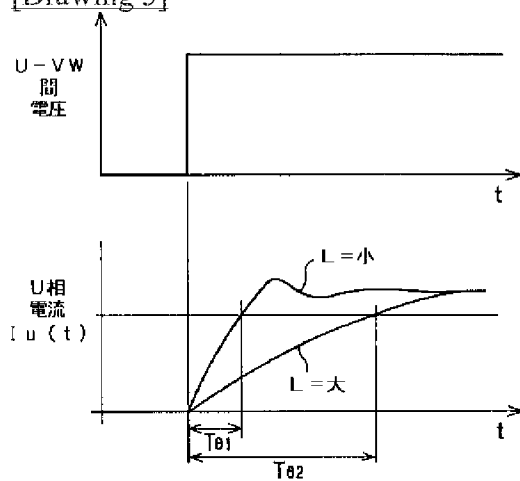
[Drawing 4]



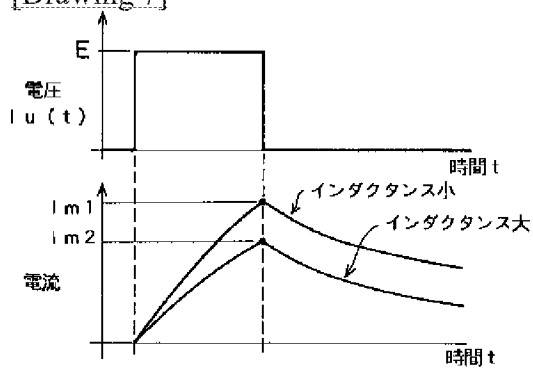
[Drawing 6]



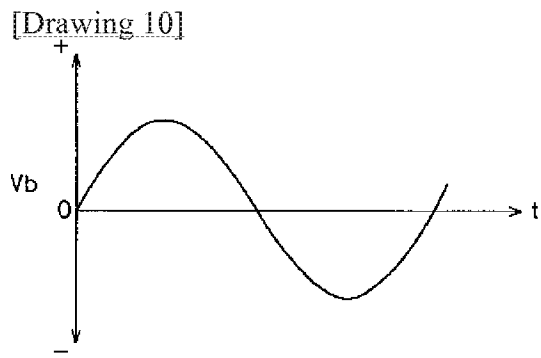
[Drawing 5]



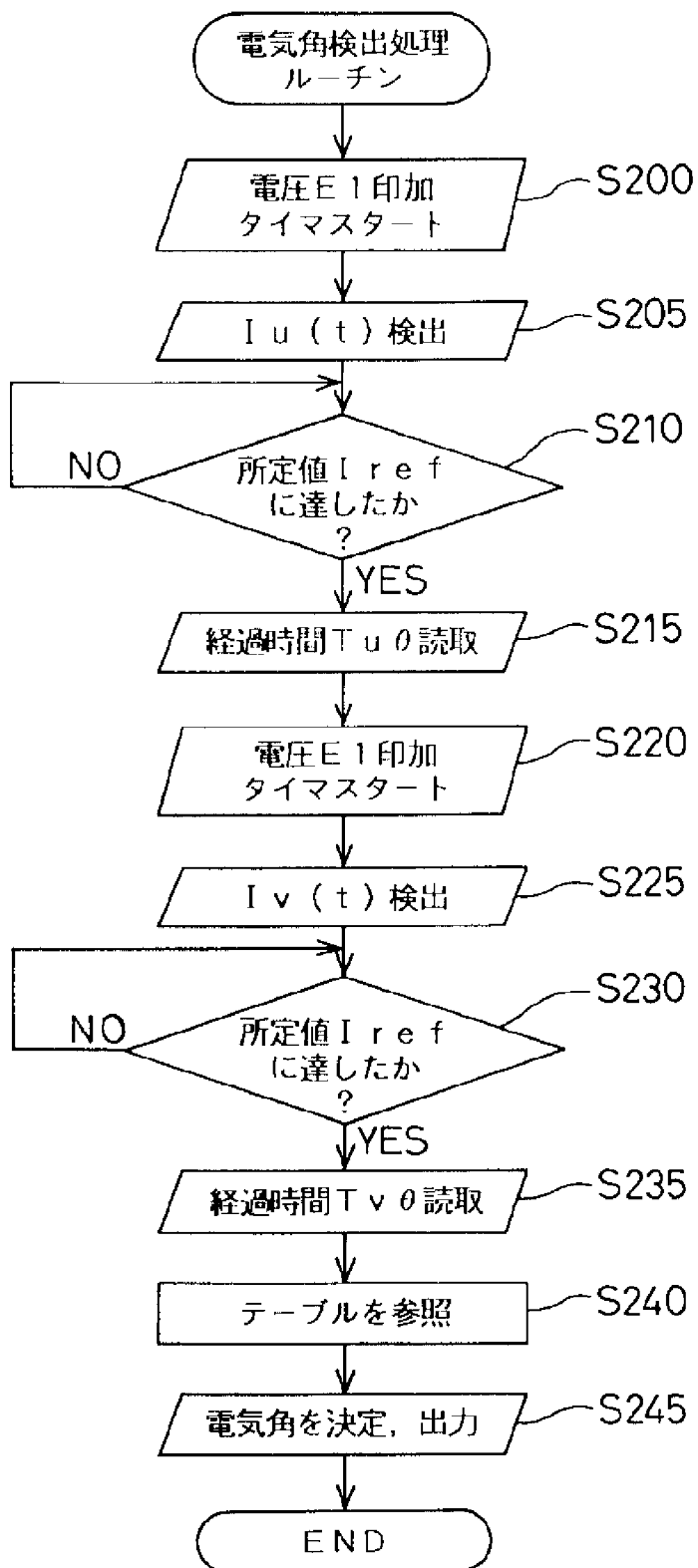
[Drawing 7]



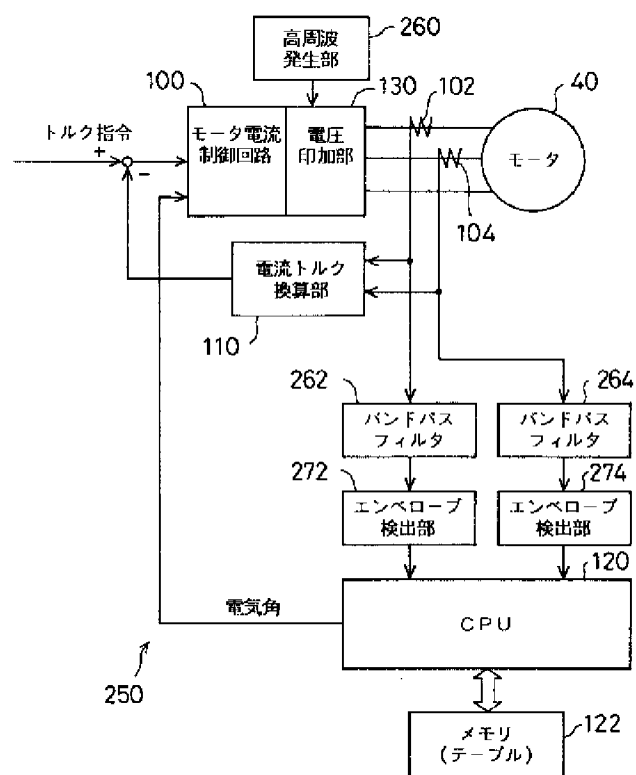




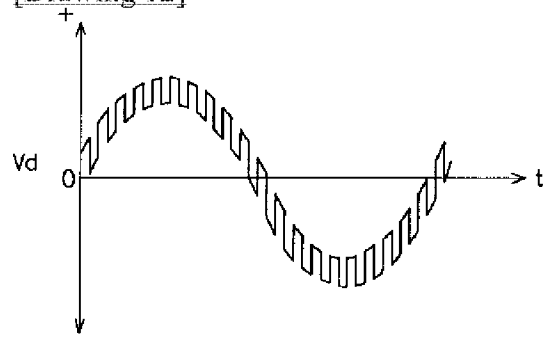
[Drawing 8]



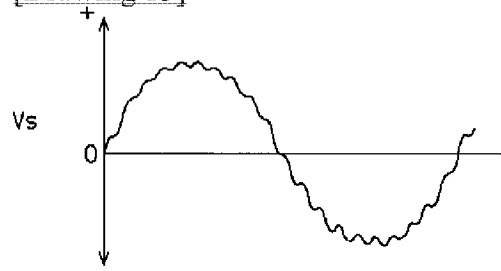
[Drawing 9]



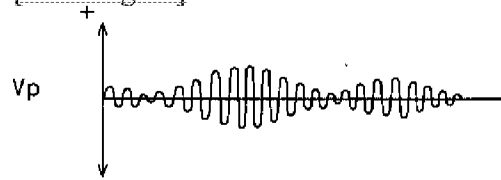
[Drawing 12]



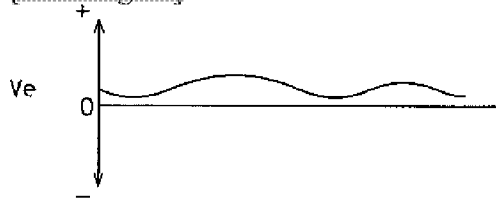
[Drawing 13]



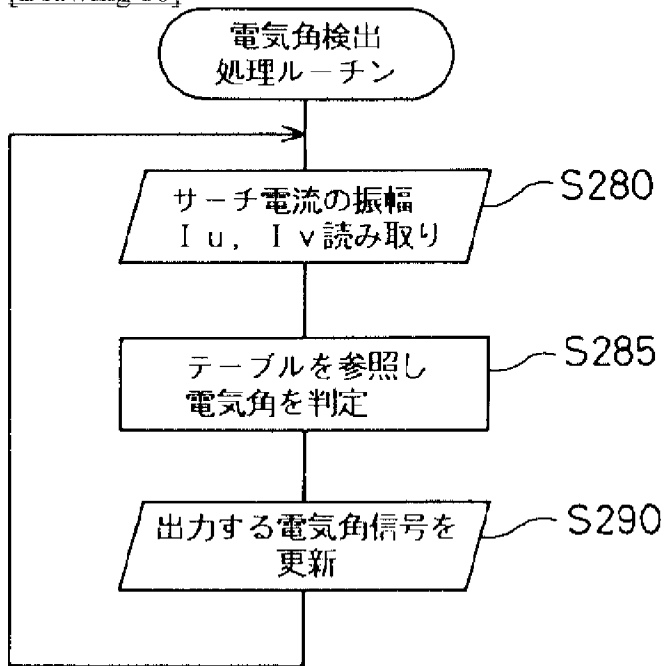
[Drawing 14]



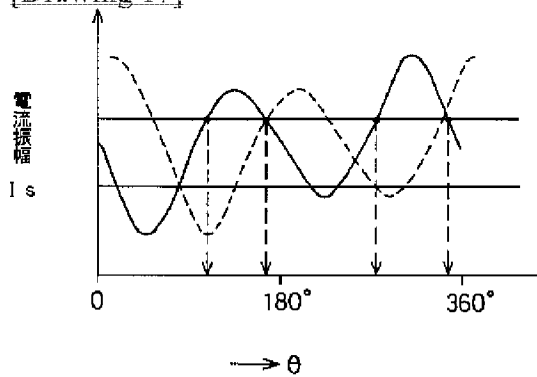
[Drawing 15]



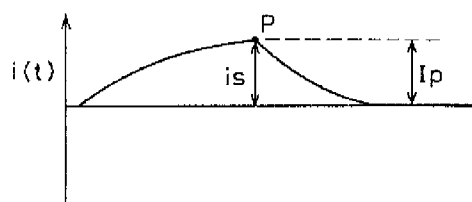
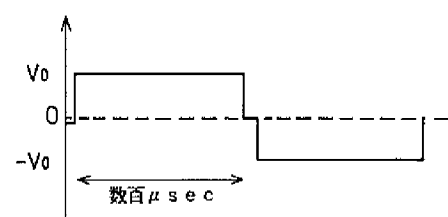
[Drawing 16]



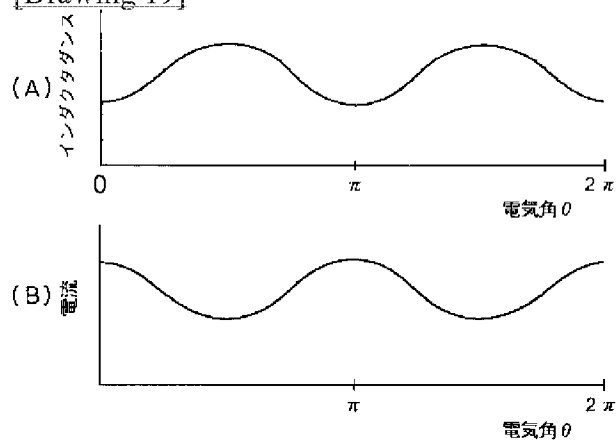
[Drawing 17]



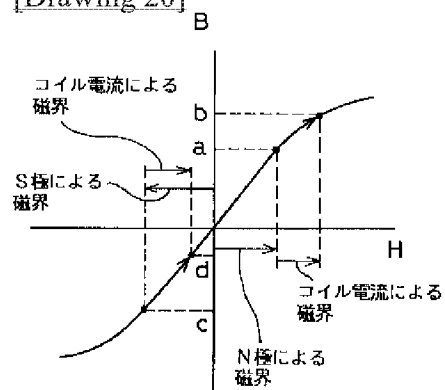
[Drawing 18]



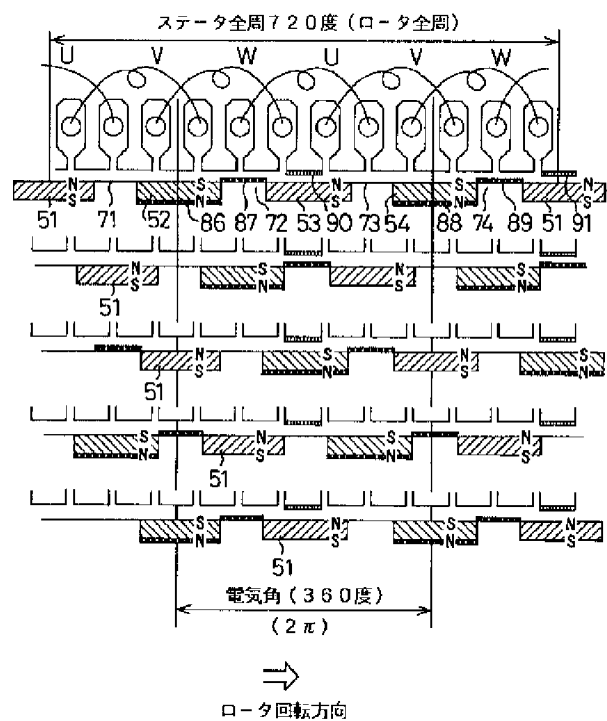
[Drawing 19]



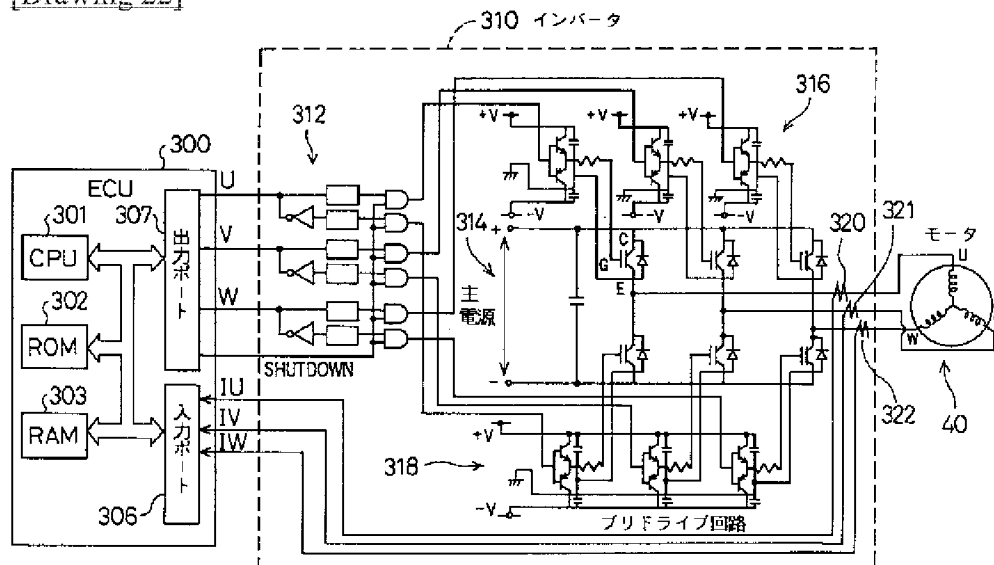
[Drawing 20]



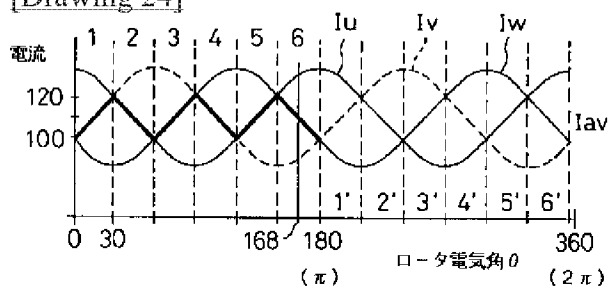
[Drawing 21]



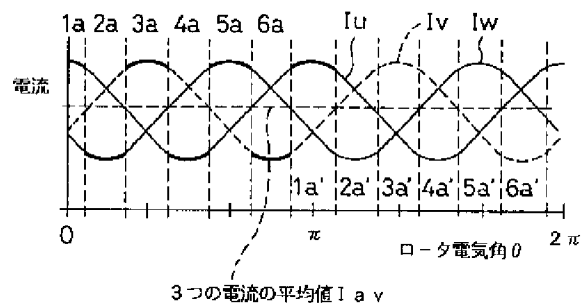
[Drawing 22]



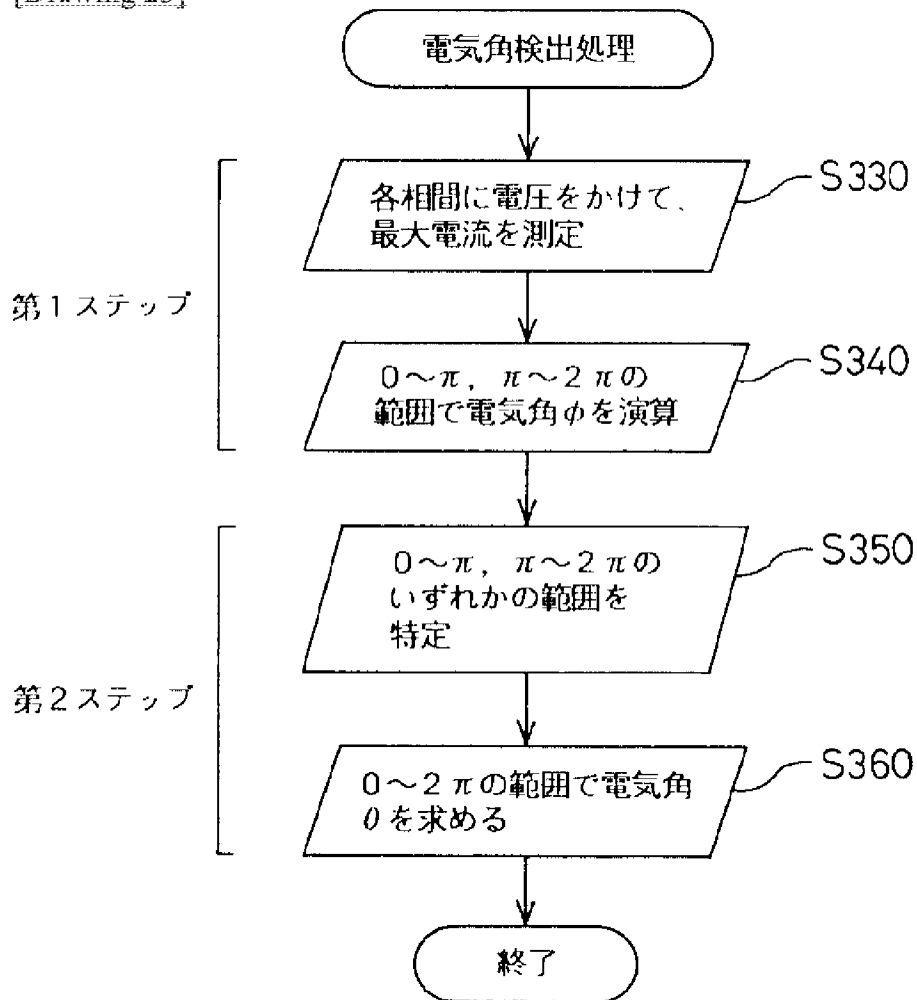
[Drawing 24]



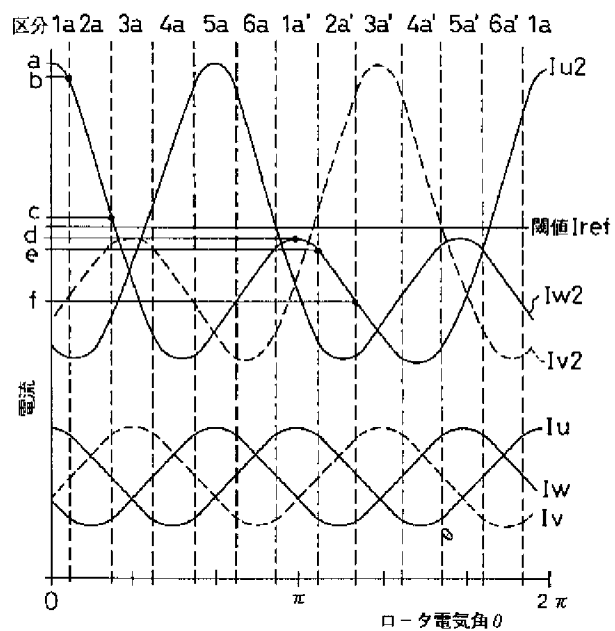
[Drawing 25]



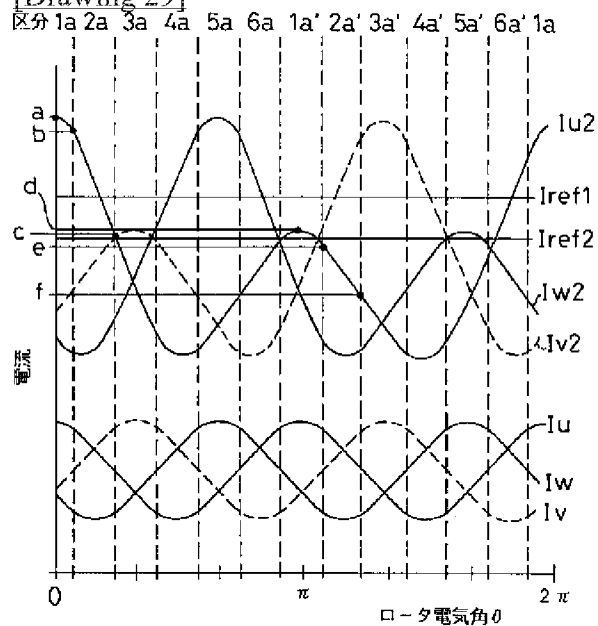
[Drawing 23]



[Drawing 27]

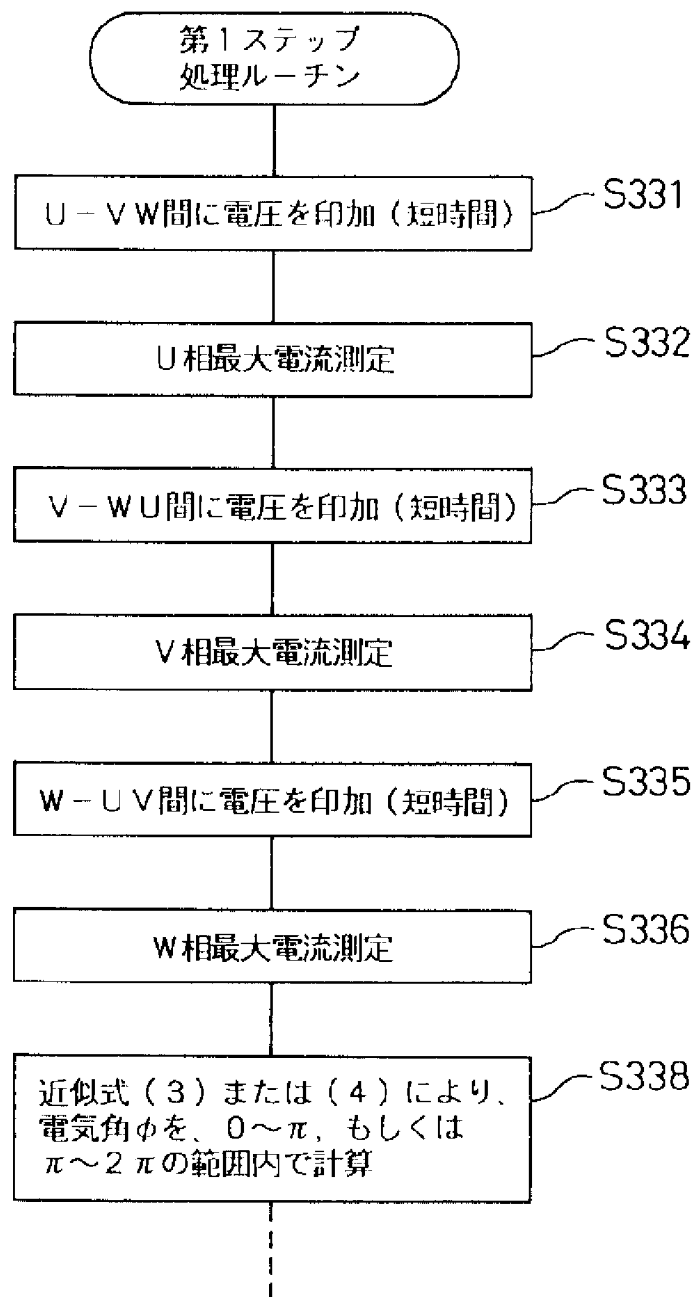


[Drawing 29]

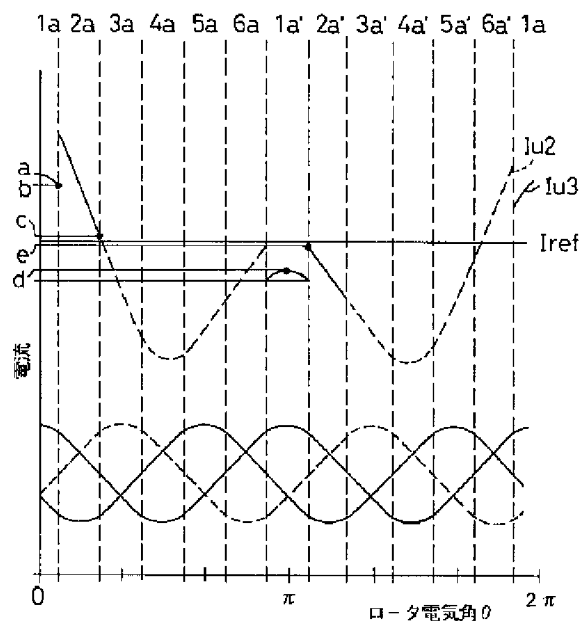


[Drawing 26]

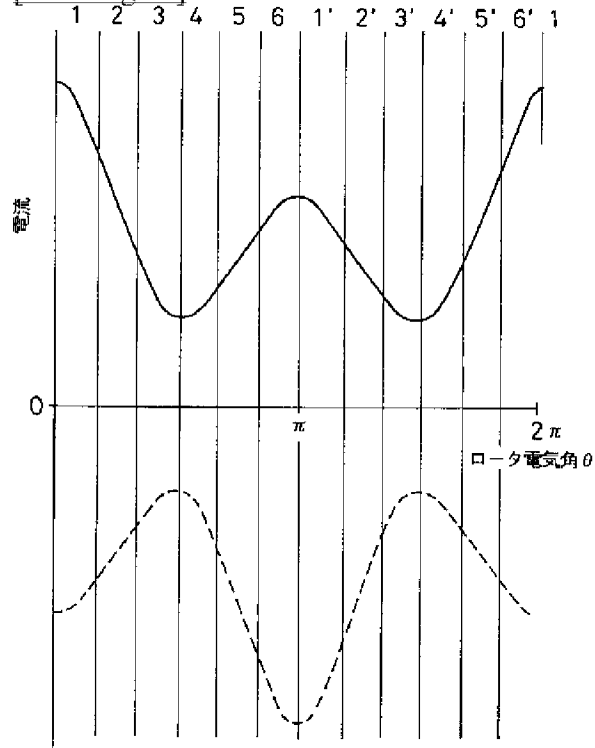




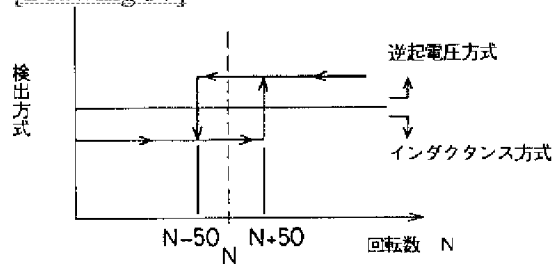
[Drawing 30]



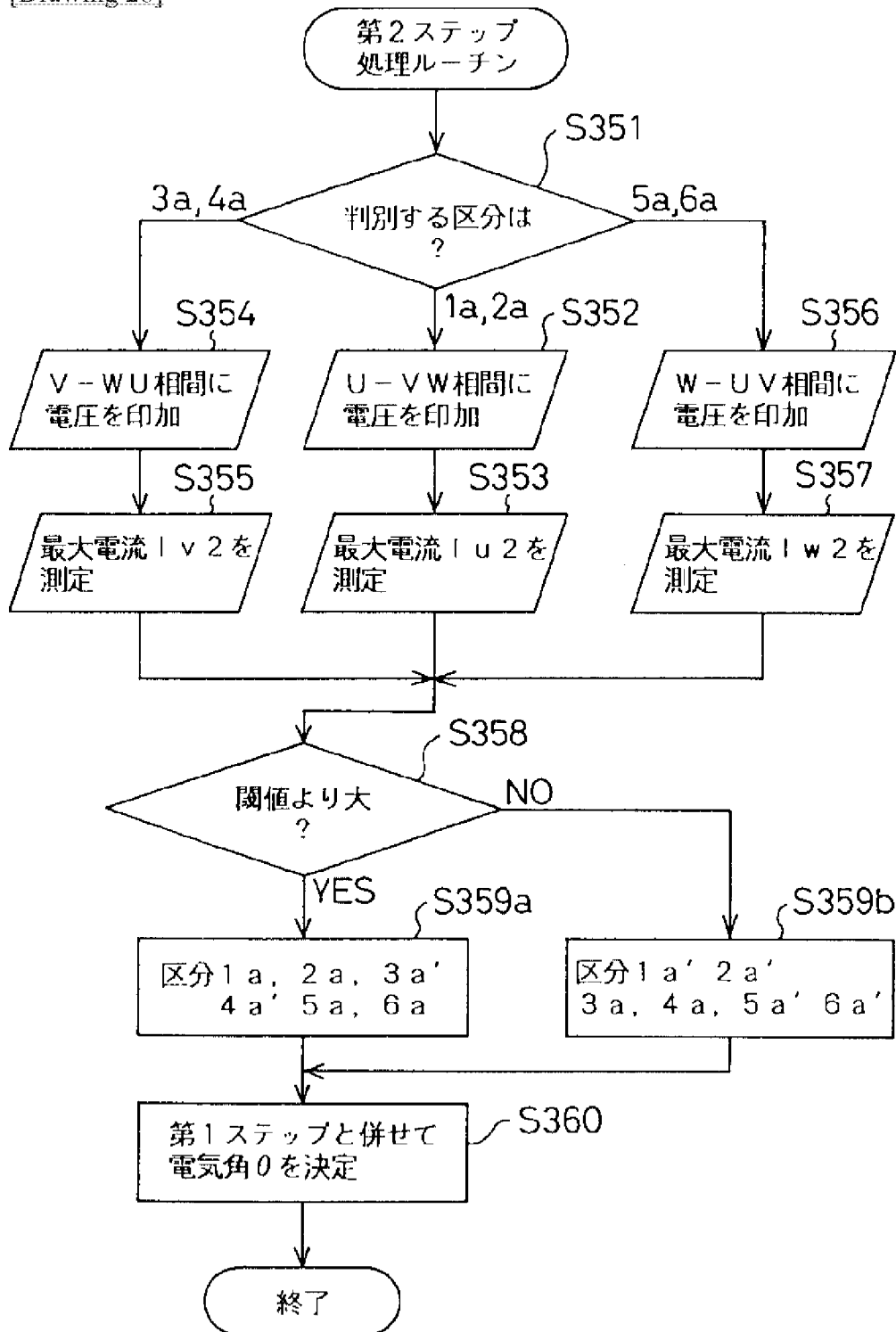
[Drawing 31]



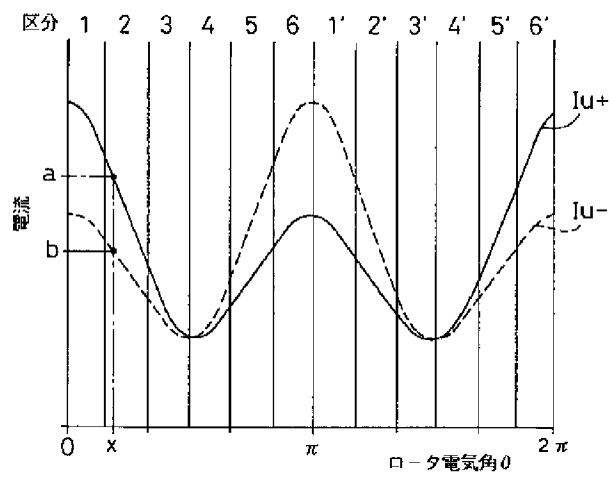
[Drawing 37]



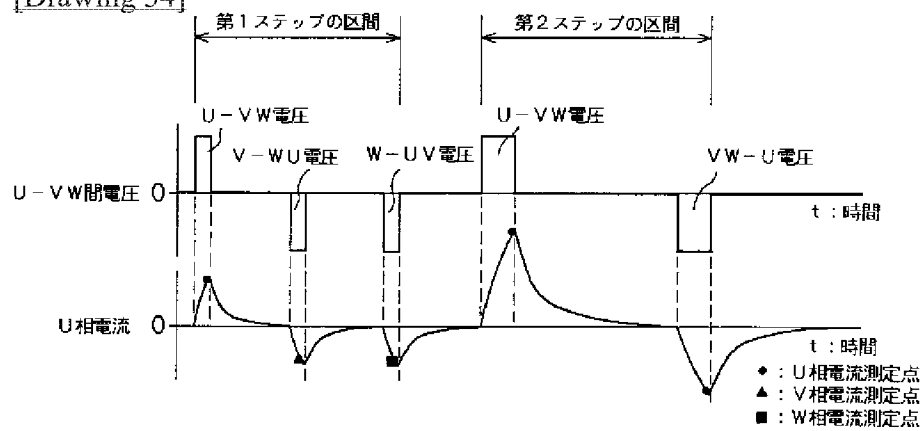
[Drawing 28]



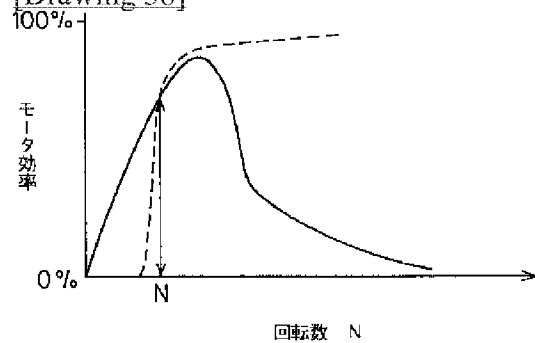
[Drawing 32]



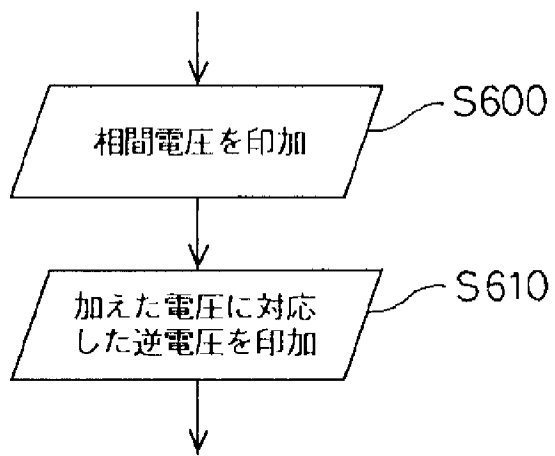
[Drawing 34]



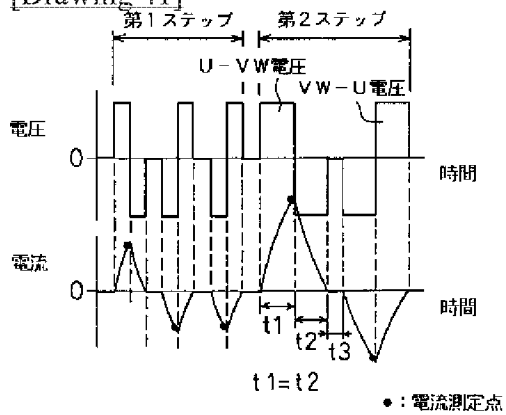
[Drawing 38]



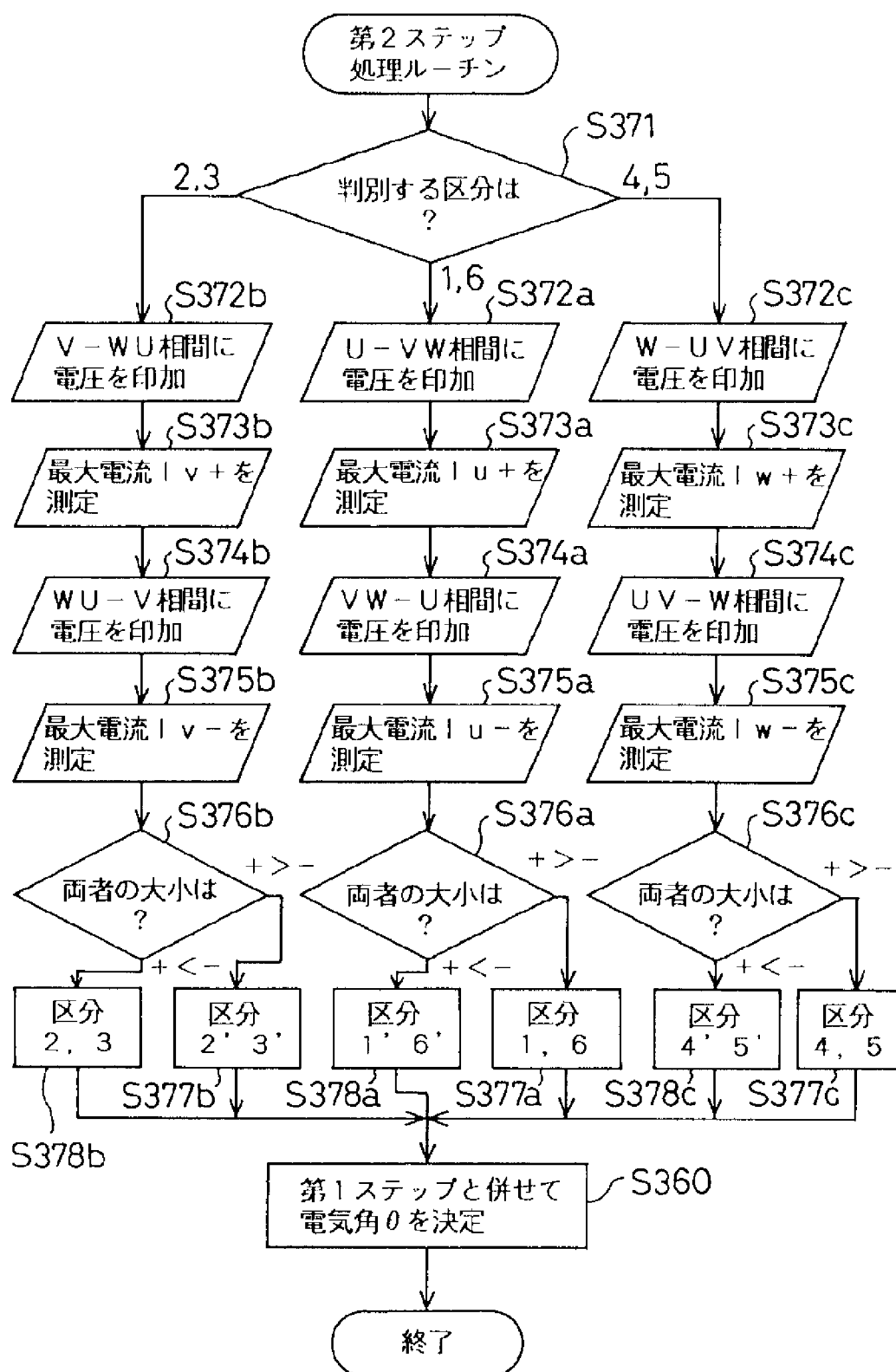
[Drawing 40]



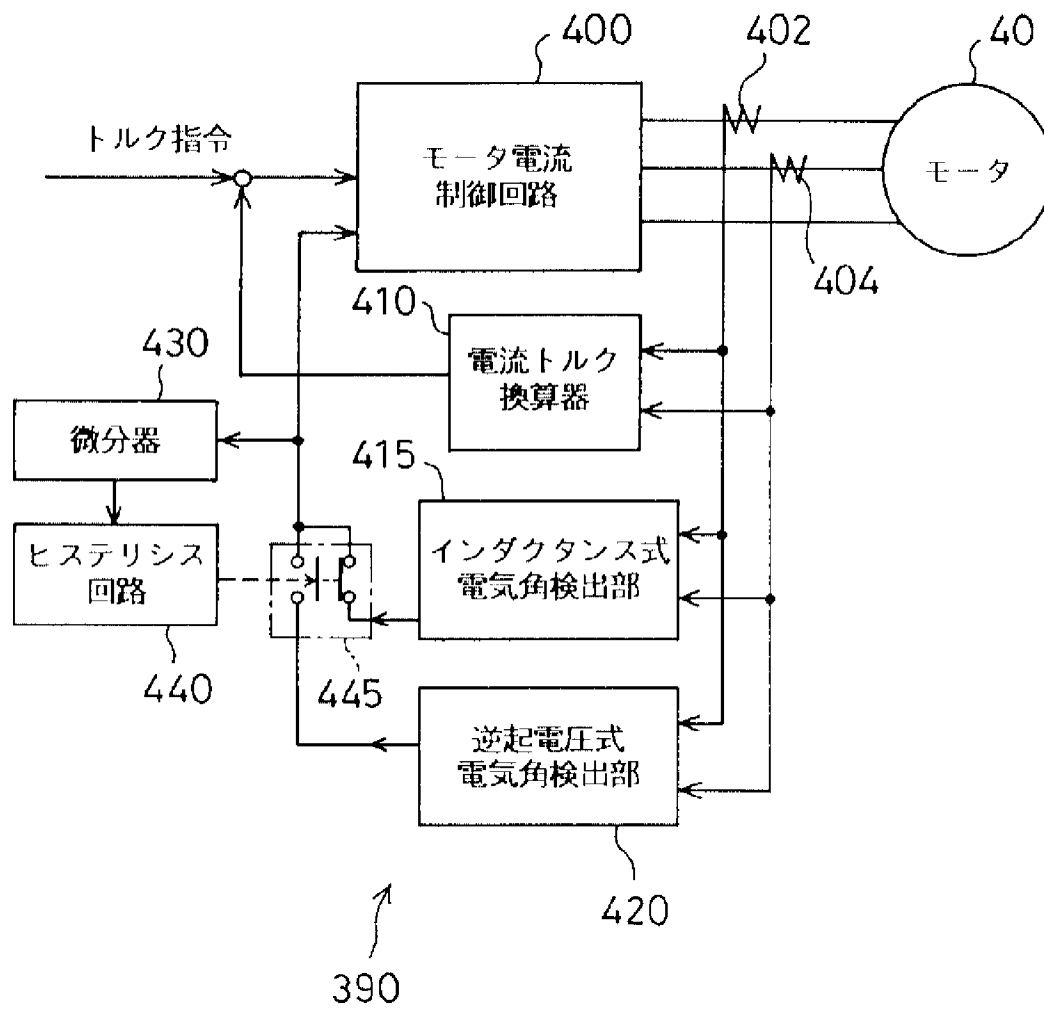
[Drawing 41]



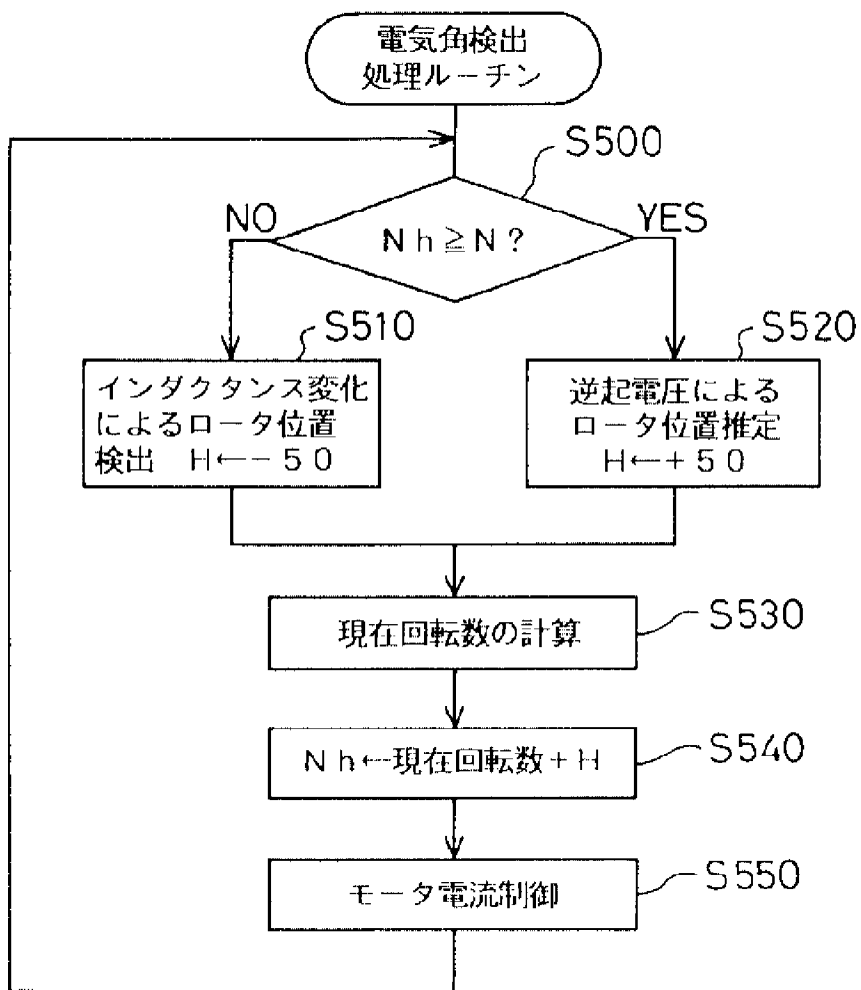
[Drawing 33]



[Drawing 35]

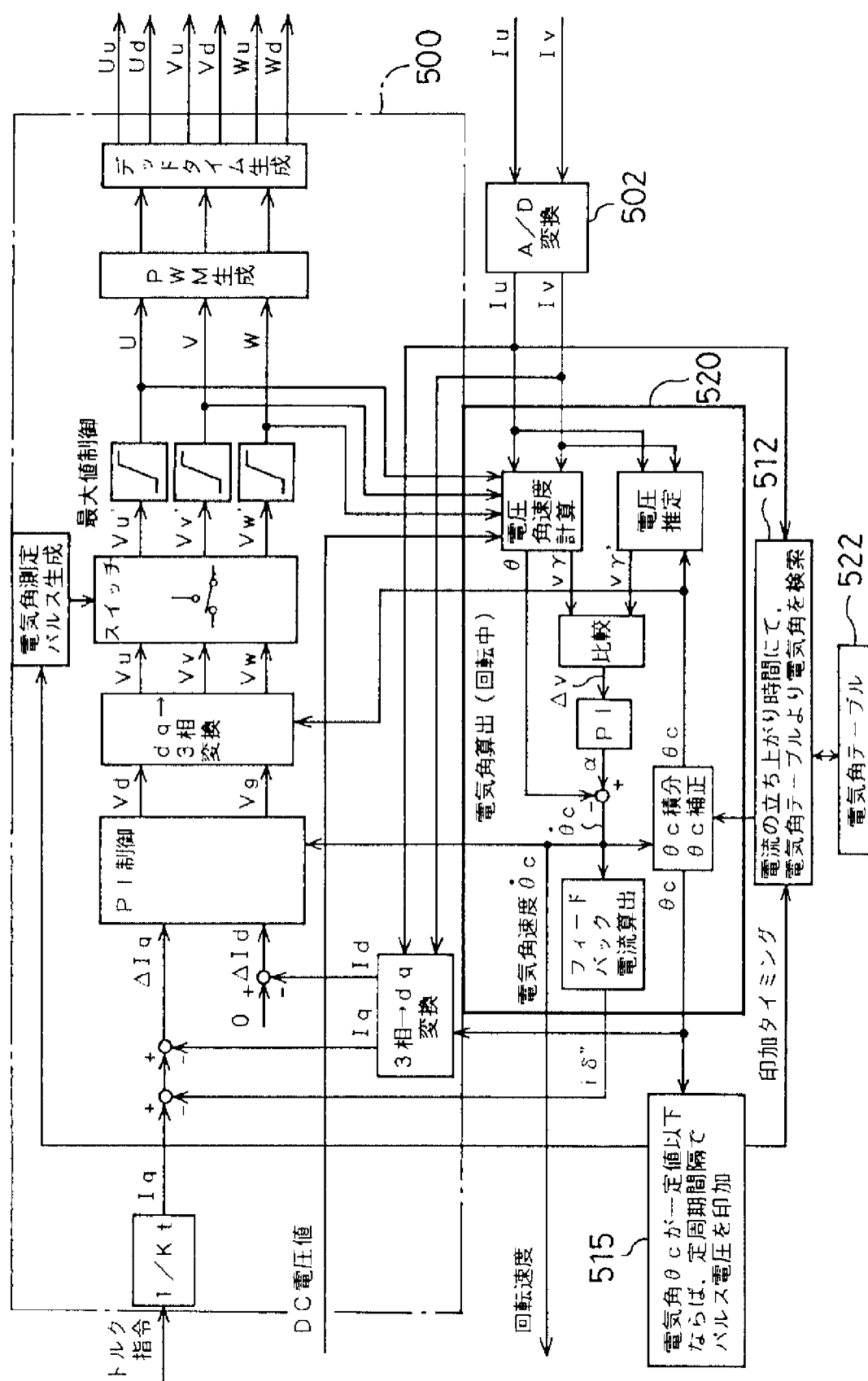


[Drawing 36]

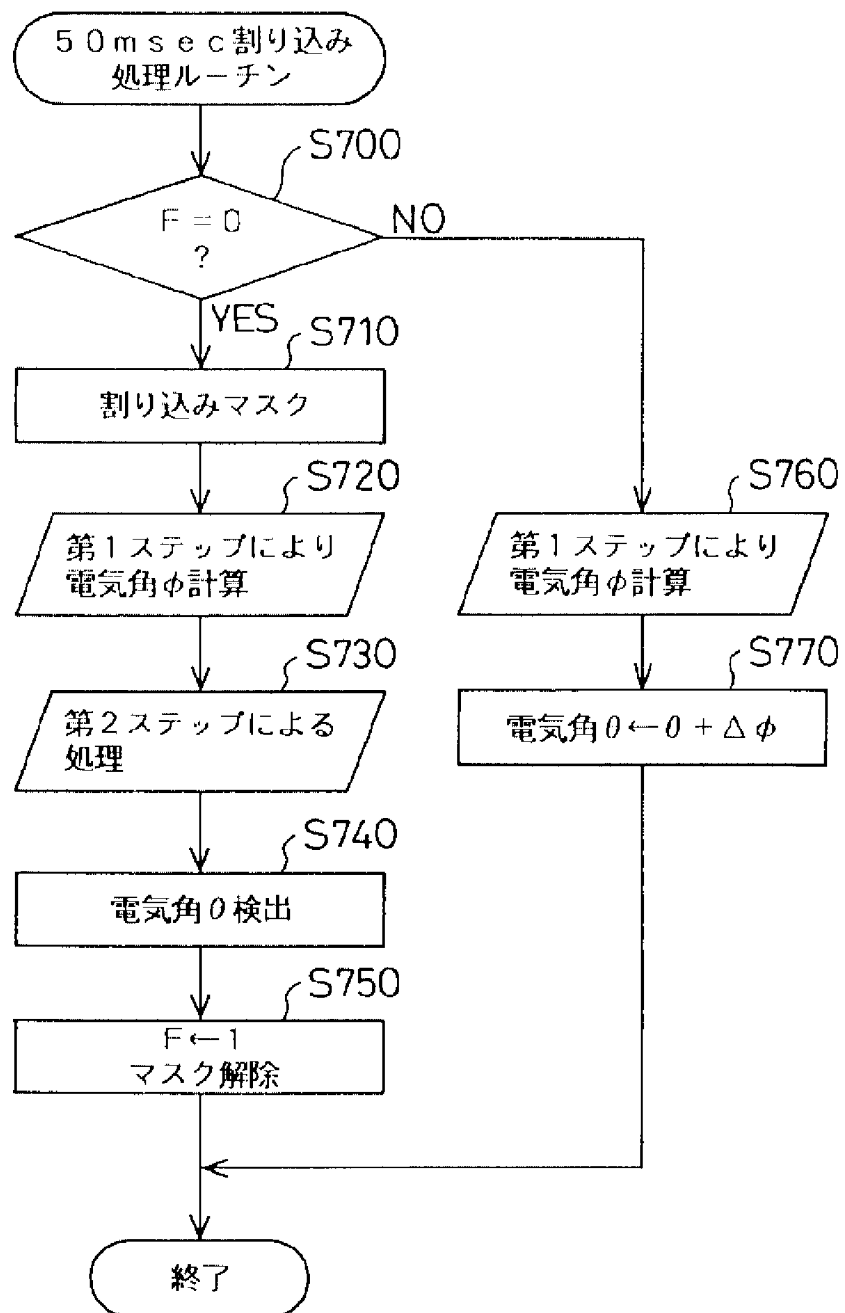


[Drawing 39]





[Drawing 42]



[Translation done.]

特開平7-177788

(43)公開日 平成7年(1995)7月14日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 2 P 6/16				
6/20				
			H 0 2 P 6/ 02	3 5 1 N 3 5 1 K

審査請求 未請求 請求項の数19 F D (全 31 頁)

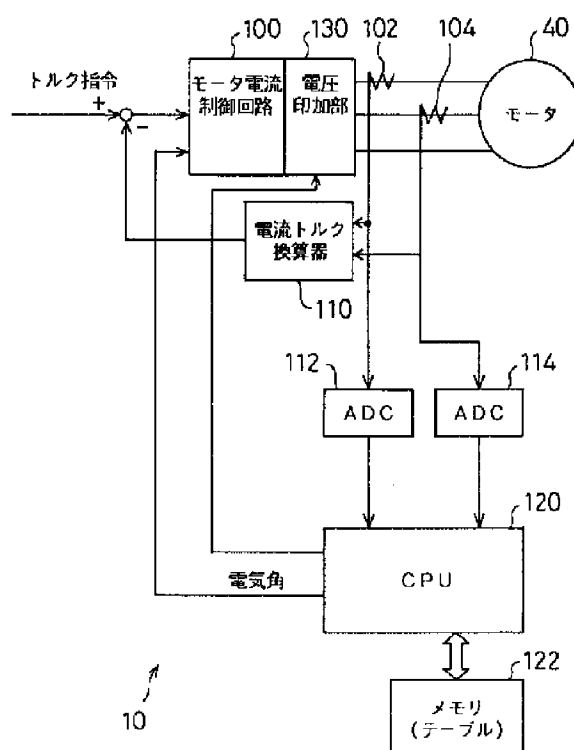
(21)出願番号	特願平6-238500	(71)出願人	000003207 トヨタ自動車株式会社 愛知県豊田市トヨタ町1番地
(22)出願日	平成6年(1994)9月5日	(72)発明者	川端 康己 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
(31)優先権主張番号	特願平5-291385	(72)発明者	山田 英治 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
(32)優先日	平5(1993)10月26日	(72)発明者	三浦 徹也 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
(33)優先権主張国	日本 (J P)	(74)代理人	弁理士 下出 隆史 (外1名) 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電気角検出装置およびこれを用いた同期モータの駆動装置

## (57)【要約】

【目的】 回転子が静止状態もしくは低速回転中であってもセンサレスに回転子の回転位置（電気角）を検出し、同期モータを効率よく制御する。

【構成】 回転子50の角度による各相間のインダクタンスの相違を利用して、電気角を求める。異なる相間のインダクタンスを求め、予め記憶しておいて関係から電気角を求める。また、第1のステップで、電気角 $\phi$ を0 $\sim\pi$ もしくは $\pi\sim2\pi$ のいずれかの範囲で近似計算により求めておき、相関に印加した電圧に対する最大電流の非対称性を利用して、第2のステップで電気角の属する範囲を特定する。これにより、電気角 $\theta$ を一義的に決定する。効率を勘案し、所定回転数以下では、上記手法により電気角を求め、所定回転数以上では、逆起電圧を用いて電気角を検出し、三相同期モータ40の駆動電流を制御するものとしてもよい。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 多相交流を巻線に流し、該巻線による磁界と永久磁石による磁界との相互作用により回転子を回転させる同期モータの電気角検出装置であって、多相の第1の組合わせに対して所定の電圧を印加し、該印加した電圧に応じて流れる電流の挙動と電気角との関係を予め記憶する第1の記憶手段と、前記第1の組合わせとは異なる組合わせの相間に所定の電圧を印加し、該印加した電圧に応じて流れる電流の挙動と電気角との関係を予め記憶する第2の記憶手段と、前記第1の組合わせに対して前記電圧を印加し、流れる電流の挙動を検出する第1の検出手段と、前記第2の組合わせに対して前記電圧を印加し、流れる電流の挙動を検出する第2の検出手段と、該第1、第2の検出手段により検出された電流の挙動に基づいて、前記第1、第2の記憶手段に記憶された関係を参照し、前記モータの電気角を $0 \sim 2\pi$ の間で求める電気角演算手段とを備えた電気角検出装置。

【請求項2】 請求項1記載の電気角検出装置であって、前記第1、第2の記憶手段は、電流の挙動と電気角に応じたインダクタンスの関係を記憶する手段である電気角検出装置。

【請求項3】 前記同期モータの極対を、磁気的な特性が異なるN極およびS極から構成し、電気角 $\pi$ あたりの前記電流の挙動が他の電気角 $\pi$ における挙動と異なる挙動として構成した請求項1記載の電気角検出装置。

【請求項4】 前記第1の検出手段および第2の検出手段の少なくとも一方に、前記電圧を印加する多相の組合わせと前記回転子とが構成する磁気回路の磁気特性の非線形領域に相当する電圧を、当該多相の組合わせに印加する電圧印加手段を備えた請求項1記載の電気角検出装置。

【請求項5】 多相交流を巻線に流し、該巻線による磁界と永久磁石による磁界との相互作用により回転子を回転させる同期モータの電気角検出装置であって、前記多相の各組み合わせに電圧を印加し、該電圧に応じて流れる電流の挙動に基づいて、近似計算により、電気角 $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ の区間内での電気角を演算する電気角演算手段と、電気角が $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ のいずれの区間に属するかを特定する区間特定手段と、前記検出された電気角および該特定された区間から、ただ一つの電気角を決定する電気角決定手段とを備えた電気角検出装置。

【請求項6】 請求項5記載の電気角検出装置であって、電気角演算手段は、三相同期モータにおいて、多相のN( $N \geq 3$ )個の組合わせについて、電圧を順次印加し、該印加した電圧に応

2

じて流れる電流の挙動を検出する電流検出手段と、該求めたN個の電流の挙動のうち、直線近似による誤差が最も小さいものを選択する選択手段と、該選択された電流の挙動から直線近似により、前記モータの電気角を求める近似計算手段とからなる電気角検出装置。

【請求項7】 前記電流検出手段は、前記N個の組合わせのうちN-1個について電流の挙動を実測する手段と、残り1個については当該N-1個の実測値から演算する手段とから構成された請求項6記載の電気角検出装置。

【請求項8】 請求項5記載の電気角検出装置であって、前記同期モータは三相交流を用いる三相同期モータであり、前記電気角演算手段は、三相の各組み合わせの相間に所定の電圧を印加した場合の各々の電流値を検出する電流検出手段と、該検出された3つの電流値の平均値と該3つの電流値の大小の関係から、電気角 $\pi$ を6等分する区域のいずれか一つを特定する区域特定手段と、該特定された区域内において、前記電流値が極値を有する相間について、

$$\theta \doteq \tan \theta$$

の近似式により電気角の該区域内の位相を求める位相計算手段と、

前記特定された区域と前記求められた位相とに基づいて、 $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ の区間内での電気角を求める角度計算手段とを備えた電気角検出装置。

【請求項9】 請求項5記載の電気角検出装置であって、前記区間特定手段は、前記多相の特定の組合わせと前記回転子とが構成する磁気回路の磁気特性の非線形領域に相当する電圧を、当該多相の組合わせに印加する電圧印加手段と、該印加された電圧に応じて該相間に流れる電流の挙動を検出する検出手段と、該検出された電流の挙動から、電気角の範囲を $\pi$ を単位として特定する電気角範囲特定手段とを備えた電気角検出装置。

【請求項10】 前記電気角範囲特定手段は、前記電流の大きさと予め定めた閾値との大小により、電気角の範囲を特定する手段を備えた請求項9記載の電気角検出装置。

【請求項11】 請求項9記載の電気角検出装置であって、前記電気角範囲特定手段は、前記角度検出手段により特定された区域によって、前記閾値の大小を切り換えて比較を行なう手段を備えた電気角検出装置。

【請求項12】 請求項9記載の電気角検出装置であって

て、

前記電圧印加手段は、前記印加する電圧の大きさを、前記角度検出手段により特定された区域に基づいて決定する電圧決定手段を備え、

前記電気角範囲特定手段は、該印加された電圧に応じて相間に流れる電流の大きさと予め定めた閾値との大小により、電気角の範囲を特定する手段を備えた電気角検出装置。

【請求項13】 請求項5記載の電気角検出装置であって、

前記区間特定手段は、

前記多相の特定の組合わせと前記回転子とが構成する磁気回路の磁気特性の非線形領域に相当する電圧を、所定の相間に印加する第1の電圧印加手段と、

該印加する電圧とは極性の異なる電圧を、前記相間とは異なる相間に印加する第2の電圧印加手段と、

該印加された各々の電圧に応じて該相間に流れる電流の大きさを判別することで、電気角の範囲を $\pi$ を単位として特定する電気角範囲特定手段とを備えた電気角検出装置。

【請求項14】 請求項13記載の電気角検出装置であって、

前記区間特定手段により特定された区間に基づいて、前記第1、第2の電圧印加手段が印加する相間を決定する印加相間決定手段を備えると共に、

前記第1、第2の電圧印加手段が印加する電圧を、前記非線形領域の下限值とした電気角検出装置。

【請求項15】 前記相間に電圧を印加して該電圧に対する電流の挙動を検出した後、該印加した電圧を急速に低減させる手段を備えた請求項1、5または9記載の電気角検出装置。

【請求項16】 前記印加する電圧の周波数を、駆動用に前記巻線に印加される交流電圧の周波数より高い周波数に制御する手段を備えた請求項1、5もしくは9記載の電気角検出装置。

【請求項17】 請求項1記載の電気角検出装置であって、

第1、第2の検出手段の少なくとも一方は、電流の挙動を、所定電流値となるまでに要する時間により検出する手段である電気角検出装置。

【請求項18】 多相交流を巻線に流し、該巻線による磁界と永久磁石による磁界との相互作用により回転子を回転させる同期モータの電気角検出装置であって、電気角の検出を行なう前記モータの回転数上限値により定まる電気角 $\pi$ に要する時間以内に、前記多相の所定の組み合わせに電圧を印加し、該電圧に応じて流れる電流の挙動に基づいて、電気角 $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ の区間内での電気角を検出する角度検出手段と、

少なくとも1回、電気角が $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ のいずれの区間に属するかを特定する区間特定手段と、

前記検出された電気角および該特定された区間から、電気角の初期値を決定すると共に、その後は前記角度検出手段により検出された電気角を用いて現在の電気角を更新する電気角更新手段とを備えた電気角検出装置。

【請求項19】 請求項1、5、9もしくは18記載の電気角検出装置と、

回転子の回転に伴って前記巻線に発生する逆起電圧を検出する逆起電圧検出手段と、

該検出された逆起電圧に基づいて、電気角を検出する第2の電気角検出手段と、

前記回転子が停止または低速回転している領域では、前記電気角検出装置の検出結果を用い、一方該領域以外では、前記第2の電気角検出手段の検出結果を用い、前記巻線に駆動用電圧を印加する駆動電圧印加手段とを備えた同期モータの駆動装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、同期モータにおける電気角を検出する電気角検出装置およびこの電気角検出装置を用いた同期モータの駆動装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、同期モータにおける電気角を検出する装置としては、ホール素子を用いて回転子上の永久磁石の回転位置を検出するものや、巻線間に高周波電圧を加え、巻線間の電圧波形から回転子の位置（制御上は電気角）を検出する装置が提案されている（例えば、特公昭58-37790号）。

【0003】後者の構成は、永久磁石を用いた同期モータの場合、回転子の回転により逆起電圧が生じることを利用する。巻線に加えた電圧と実際に流れた電流とから逆起電圧、延いてはその時の回転子の位置を推定するのである。実際には、ステータ巻線間に印加する駆動用の交流電圧に、検出用の高周波電圧を重畳し、その巻線間の電圧波形を検出することで、電気角を検出する。こうしたステータ巻線のインダクタンスの変化を利用して電気角を検出する手法は、特別なセンサを用いない優れたものである。

【0004】これらの手法を用いたモータの制御装置は、回転子の回転位置の検出に専用のセンサを用いないので、センサレス制御装置とも呼ばれる。センサレスの制御装置では、電気角を正確に検出するため、内部に数式モデルを持ち、計算した電流と実際に流れた電流との差から、回転子の推定位置を修正するという構成をとるものも提案されている（例えば、「位置検出器を持たないブラシレスDCモータ制御系の実現」執行正謙、松井信行、平成2年半導体電力変換研究会資料SEP-90-21）。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、逆起電圧を用いて電気角を推定する従来の手法では、回転子が

回転しないと逆起電圧を生じないから、回転子が停止している状態では、電気角を検出することができないと言う問題があった。停止状態で電気角を測定するために、予め決まったパターンでステータ巻線に電流を流し、回転子をランダムに動かして逆起電圧を生じさせるというものも提案されているが、モータの回転軸が外部の部材に直結されている可能性のあるシステムでは、外部の部材に慮外の動きを生じる可能性があり、好ましい手法とは言えなかった。例えば、電気自動車のように、モータとタイヤとがギヤにより連結されている場合には、僅かとは言えタイヤに駆動力が伝達されることになる。車両と路面との関係は、様々な状況が考えられるから、こうしたいわば無制御状態は、容認し得ないところである。

【0006】センサレス制御に伴う種々の提案も、回転子が停止している場合の上記問題を解決することができなかった。回転子が所定速度以上で回転している場合、逆起電圧を利用したこの電気角検出およびこれを用いたモータの制御は、効率および検出精度に優れた手法である。従って、回転子が停止している状態および一定の回転速度に達するまでの間の電気角の推定、検出が可能となれば、センサレス制御の優れた特質が生かせるだけに、この問題の解決は、同期モータの分野で待ち望まれているものであった。

【0007】なお、同期モータの電気角に応じたインダクタンスの違いを利用して、永久磁石モータの電気角を求める方法が研究されているが（例えば、特開平6-113585号公報や第64回、第74回パワーエレクトロニクス研究会例会資料）、電気角を30度単位で求めることができるに過ぎず、実用性のある制御を実現することはできなかった。電気角を30度未満の精度で求めようとすれば、複雑な電圧方程式を解かざるを得ず、この点でも実用的なものとはなり得なかった。

【0008】本発明は、上述したセンサレス制御の要請に応えるものであり、回転子が停止していても、電気角を精度良くかつ簡易に検出して、実用的な制御に供することを目的としてなされた。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の電気角検出装置は、多相交流を巻線に流し、該巻線による磁界と永久磁石による磁界との相互作用により回転子を回転させる同期モータの電気角検出装置であって、多相の第1の組合わせに対して所定の電圧を印加し、該印加した電圧に応じて流れる電流の挙動と電気角との関係を予め記憶する第1の記憶手段と、前記第1の組合わせとは異なる組合わせの相間に所定の電圧を印加し、該印加した電圧に応じて流れる電流の挙動と電気角との関係を予め記憶する第2の記憶手段と、前記第1の組合わせに対して前記電圧を印加し、流れる電流の挙動を検出する第1の検出手段と、前記第2の組合わせに対して前記電圧を印加し、流れる電流の挙動を検出する第2の検出手段と、

該第1、第2の検出手段により検出された電流の挙動に基づいて、前記第1、第2の記憶手段に記憶された関係を参照し、前記モータの電気角を0～2πの間で求める電気角演算手段とを備えたことを要旨とする。

【0010】本発明の第2の電気角検出装置は、多相交流を巻線に流し、該巻線による磁界と永久磁石による磁界との相互作用により回転子を回転させる同期モータの電気角検出装置であって、前記多相の各組み合わせに電圧を印加し、該電圧に応じて流れる電流の挙動に基づいて、近似計算により、電気角0～πもしくはπ～2πの区間での電気角を演算する電気角演算手段と、電気角が0～πもしくはπ～2πのいずれの区間に属するかを特定する区間特定手段と、前記検出された電気角および該特定された区間から、ただ一つの電気角を決定する電気角決定手段とを備えたことを要旨とする。

【0011】本発明の第3の電気角検出装置は、上記電気角検出装置において、前記区間特定手段が、前記多相の特定の組合わせと前記回転子とが構成する磁気回路の磁気特性の非線形領域に相当する電圧を、当該多相の組合わせに印加する電圧印加手段と、該印加された電圧に応じて該相間に流れる電流の挙動を検出する検出手段と、該検出された電流の挙動から、電気角の範囲をπを単位として特定する電気角範囲特定手段とを備えたことを要旨とする。

【0012】本発明の第4の電気角検出装置は、多相交流を巻線に流し、該巻線による磁界と永久磁石による磁界との相互作用により回転子を回転させる同期モータの電気角検出装置であって、電気角の検出を行なう前記モータの回転数上限値により定まる電気角πに要する時間以内に、前記多相の所定の組み合わせに電圧を印加し、該電圧に応じて流れる電流の挙動に基づいて、電気角0～πもしくはπ～2πの区間内での電気角を検出する角度検出手段と、少なくとも1回、電気角が0～πもしくはπ～2πのいずれの区間に属するかを特定する区間特定手段と、前記検出された電気角および該特定された区間から、電気角の初期値を決定すると共に、その後は前記角度検出手段により検出された電気角を用いて現在の電気角を更新する電気角更新手段とを備えたことを要旨とする。

【0013】他方、本発明の同期モータの駆動装置は、上記第1ないし第4の電気角検出装置を備えると共に、回転子の回転に伴って前記巻線に発生する逆起電圧を検出する逆起電圧検出手段と、該検出された逆起電圧に基づいて、電気角を検出する第2の電気角検出手段と、前記回転子が停止または低速回転している領域では、前記電気角検出装置の検出結果を用い、一方領域以外では、前記第2の電気角検出手段の検出結果を用い、前記巻線に駆動用電圧を印加する駆動電圧印加手段とを備えたことを要旨とする。

【0014】

7

【作用】本発明の第1の電気角検出装置は、第1の検出手段により、同期モータの多相の第1の組合わせに対して所定の電圧を印加し、該印加した電圧に応じて流れる電流の挙動を検出する。他方、第2の検出手段により、第1の組合わせとは異なる組合わせの相間に所定の電圧を印加し、印加したこの電圧に応じて流れる電流の挙動を検出する。回転子が回転していなくとも、巻線のインダクタンスは、回転子の位置（電気角）により異なり、かつ同期モータにあっては一つの相間のインダクタンスが同一の値となる回転子の位置が複数有り得る。従って、少なくとも2つ以上の検出手段により、インダクタンスを反映した電流の挙動を検出し、第1、第2の記憶手段に予め記憶した電流の挙動と電気角との関係を参照することにより、回転子の位置を、電気角 $0 \sim 2\pi$ の範囲で決定可能となるのであり、電気角演算手段は、こうして同期モータの電気角を求める。

【0015】ここで、第1、第2の記憶手段としては、電流の挙動と電気角に応じたインダクタンスの関係を記憶する手段を用いることができる。この場合には、電流の挙動とインダクタンスとの関係を実際に記憶しておけば良いので、簡単な構成で高い検出精度を実現することができる。

【0016】電流の挙動と電気角に応じたインダクタンスの関係が、電気角の $0 \sim \pi$ および $\pi \sim 2\pi$ で異なったものとなっていれば、第1、第2の検出手段により電気角の検出は容易に行なえる。このような関係を実現する方法は幾つもあり、例えば、同期モータの極対を、磁気的な特性が異なるN極およびS極から構成し、電気角 $\pi$ あたりの前記電流の挙動が他の電気角 $\pi$ における挙動と異なる挙動とすることも好適である。

【0017】また、前記電圧を印加する多相の組合わせと前記回転子とが構成する磁気回路の磁気特性の非線形領域に相当する電圧を、当該多相の組合わせに印加するものとするれば、電流の挙動と電気角に応じたインダクタンスの関係が、電気角の $0 \sim \pi$ および $\pi \sim 2\pi$ で異なったものとなる。

【0018】本発明の第2の電気角検出装置のように、電気角を、前記電流の挙動に基づいて近似計算により演算するものとすることができる。例えば、電気角演算手段を、三相同期モータにおいて、多相のN（ $N \geq 3$ ）個の組合わせについて、電圧を順次印加し、該印加した電圧に応じて流れる電流の挙動を検出し、求めたN個の電流の挙動のうち、直線近似による誤差が最も小さいものを選択し、選択された電流の挙動から直線近似により、前記モータの電気角を求めることもできる。あるいは、N個の組合わせのうちN-1個について電流の挙動を実測し、残り1個については当該N-1個の実測値から演算するものとしても差し支えない。

【0019】また、同期モータのうち三相同期モータであれば、三相の各組み合わせの相間に所定の電圧を印加

8

した場合の各々の電流値を検出し、検出された3つの電流値の平均値と該3つの電流値の大小の関係から、電気角 $\pi$ を6等分する区域のいずれか一つを特定し、更に該特定された区域内において、前記電流値が極値を有する相間について、 $\theta = \tan \theta$ の近似式により電気角の該区域内の位相を求めるものとすれば、特定された区域と求められた位相とに基づいて、 $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ の区間内での電気角を求めることができる。

【0020】本発明の第3の電気角検出装置は、電気角の演算を近似計算により行なう第2の電気角検出装置において、電気角が $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ までのいずれの区間に属するかを判定する構成に特徴を有するものであり、例えば非線形領域の電圧を印加した場合の電流の大きさと予め定めた閾値との大小により、電気角の属する範囲を特定することができる。この場合、 $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ の区間内での電気角に応じて、電圧を印加する相間を変えれば、電流値の検出と比較を最低1回で済ませることができるが、電圧を印加する相間を変えて、複数回、測定・比較を行なうことも差し支えない。

【0021】電気角が、角度検出手段により特定されたどの区間に属するかによっては、所定電圧の印加に対する電流値が大きく異なるので、閾値の大小を切り換えて比較を行なうものとして、判定の精度を高めることができる。逆に、印加する電圧の大きさを、角度検出手段により特定された区間に基づいて決定し、印加された電圧に応じて相間に流れる電流の大きさと予め定めた閾値との大小により、電気角の範囲を特定するものとするれば、印加する電圧を徒に大きくする必要がなく、高電圧の印加に伴う弊害を除去することができる。

【0022】電気角が属する区間は、多相の特定の組合わせと前記回転子とが構成する磁気回路の磁気特性の非線形領域に相当する電圧を、所定の相間に印加し、続いてこの電圧とは極性の異なる電圧を、この電圧を印加した相間とは異なる相間に印加し、印加された各々の電圧に応じて対応する相間に流れる電流の大きさを判別することで、 $\pi$ を単位として特定することができる。

【0023】この場合でも、 $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ の区間内における電気角の属する区域によっては判別の容易さは異なるので、電気角が属する区域に基づいて、電圧を印加する相間を判別し易い相間に決定すれば、この印加電圧を、非線形領域の下限值とするとができる。

【0024】相間に電圧を印加した場合、電圧の印加を停止しても、過渡減少により電圧が低下するのには所定の時間を要する。そこで、印加した電圧に対する電流の挙動を検出した後、印加した電圧を急速に低減させるものとして、電流の挙動の次の検出が可能となるまでの時間を短縮することも好適である。印加した電圧を急速に低減するには、相間を短絡しても良いし、相間に逆電圧を印加しても良い。

【0025】なお、印加する電圧の周波数を、駆動用に

前記巻線に印加される交流電圧の周波数より高い周波数に制御すれば、駆動用の交流電圧を加えた状態でも、電気角の検出用信号を容易に抽出することができる。また、同期モータの駆動に影響を与えることがない。

【0026】検出手段が検出する電流の挙動は、種々のものが考えられるが、例えば所定の電圧を印加した後の過渡現象に着目し、電流値が所定電流値に上昇するまでの時間、所定時間経過後の電流値、所定時間経過時点の電流値の微分値など、回転子の位置（電気角）により定まる巻線のインダクタンスと相関を有する量を検出する構成が考えられる。また、所定時間所定電圧を印加した後に電圧を0ないし低い電圧とし、電圧が低下していく側の過渡応答に基づいて、電流の挙動を検出するものとしてもよい。

【0027】本発明の第4の電気角検出装置によれば、角度検出手段が、電気角の検出を行なう前記モータの回転数上限値により定まる電気角 $\pi$ に要する時間以内に、前記多相の所定の組み合わせに電圧を印加し、該電圧に応じて流れる電流の挙動に基づいて、電気角 $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ の区間内の電気角を検出する。このままでは、電気角が $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ のいずれに属するか特定できないので、少なくとも1回、電気角が $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ のいずれの区間に属するかを、区間特定手段により特定する。こうして検出された電気角および該特定された区間から、電気角の初期値を決定する。その後は、電気角を $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ の区間内で電気角を検出しても、いずれの範囲に属しているかは計算上特定できるので、この電気角を用いて現在の電気角を更新する。

【0028】他方、本発明の同期モータの駆動装置は、上記の電気角検出装置を備え、回転子が停止または低速回転している領域では、この電気角検出装置の検出結果を用いて駆動電圧印加手段が、同期モータの巻線に駆動用電圧を印加する。一方、この領域以外では、回転子の回転に伴って巻線に発生する逆起電圧を逆起電圧検出手段により検出する。この逆起電圧に基づいて、第2の電気角検出手段により、電気角を検出し、駆動電圧印加手段が、第2の電気角検出手段の検出結果を用い、巻線に駆動用電圧を印加する。

【0029】

【実施例】以上説明した本発明の構成・作用を一層明らかにするために、以下本発明の好適な実施例について説明する。図1は本発明の一実施例としての電気角検出装置を含むモータ制御装置10の概略構成を示すブロック図、図2は制御対象となっている三相同期モータ40の概略構成を示す説明図、図3はこの三相同期モータ40の固定子30と回転子50との関係を示す端面図、である。

【0030】まず、図2を用いて、三相同期モータ40の全体構造について説明する。この三相同期モータ40

は、固定子30と回転子50とこれらを収納するケース60とからなる。回転子50は、外周に永久磁石52が貼付されており、その軸中心に設けられた回転軸55を、ケース60に設けられた軸受61、62により回転自在に軸支している。

【0031】回転子50は、無方向性電磁鋼板を打ち抜いて成形したロータ57を複数枚積層したものである。このロータ57は、図3に示すように、直交する位置に4箇所の突極71ないし74を備える。ロータ57を積層した後、回転軸55を圧入し、積層したロータ57を仮止めする。この電磁鋼板を素材とするロータ57には、その表面に絶縁層と接着層が形成されており、積層後所定温度に加熱して接着層を溶融・固定している。

【0032】こうして回転子50を形成した後、回転子50の外周面であって、突極71ないし74の中間位置に、永久磁石51ないし54を軸方向に亘って貼付する。この永久磁石は、厚み方向に磁化されている。回転子50を固定子30に組み付けた状態では、一組の永久磁石51、52に着目すると、この永久磁石51、52は、ロータ57およびステータ20を貫く磁路Mdを形成する（図3一点鎖線参照）。

【0033】固定子30を構成するステータ20は、ロータ57と同じく無方向性電磁鋼板の薄板を打ち抜くことで形成されており、図3に示すように、計12個のティース22を備える。ティース22間に形成されたスロット24には、固定子30に回転磁界を発生させるコイル32が巻回されている。尚、ステータ20の外周には、固定用のボルト34を通すボルト孔が設けられているが、図3では図示を省略してある。

【0034】固定子30は、板状のステータ20を積層し互いに押圧した状態として、接着層を加熱・溶融することによって一応固定される。この状態で、コイル32をティース22に巻回して固定子30を完成した後、これをケース60に組み付け、ボルト孔に固定用のボルト34を通し、これを締め付けて全体を固定する。更に回転子50をケース60の軸受61、62により回転自在に組み付けることにより、この三相同期モータ40は完成する。

【0035】固定子30の固定子コイル32に回転磁界を発生するよう励磁電流を流すと、図3に示すように、隣接する突極およびロータ57、ステータ20を貫く磁路Mqが形成される。尚、上述した永久磁石52により形成される磁束が回転子50を径方向に貫く軸をd軸と呼び、固定子30の固定子コイル32により形成される磁束が回転子50を径方向に貫く軸をq軸と呼ぶ。この実施例（極数4）では、両軸は電氣的には、90度の角度をなしている。

【0036】次に、図1に従ってモータ制御装置10の構成について説明する。モータ制御装置10は、外部からのトルク指令を受けて三相同期モータ40の三相



(U, V, W相)のモータ電流を制御するモータ電流制御回路100、三相同期モータ40のU相電流 $I_u$ およびV相電流 $I_v$ を検出する電流検出器102, 104、検出した電流をトルク値に換算する電流-トルク換算器110、同じく検出した電流値をデジタルデータに変換する2個のアナログデジタル変換器(ADC)112, 114、電気角の演算を行なう1チップマイクロプロセッサ(CPU)120、電気角を演算するためのテーブルを記憶したメモリ122から構成されている。電流-トルク換算器110により換算されたトルクは、トルク指令値との差分を取るように加えられ、三相同期モータ40の実際のトルクをフィードバック制御する構成となっている。また、モータ電流制御回路100には、トルク指令に基づいて決定されたモータの各相電流 $I_u$ ,  $I_v$ ,  $I_w$ が得られるようモータの各コイル間に印加する電圧を決定する電圧印加部130が、その出力段に設けられている。CPU120からの制御出力が、この電圧印加部130に出力されており、三相同期モータ40の各コイルに印加される電圧を外部から制御すること\*

$$I_u(t) = \{1 - \exp(-Rt/L)\} E1/R \quad \dots (1)$$

ここで、 $\exp()$ は、指数関数を示し、 $R$ は回路のインピーダンスを、 $t$ は時間を示す。この場合のU相電流 $I_u(t)$ は、図5下欄に示すように、インダクタンス $L$ が大きければ電流の増加は遅く、電流が所定値に上昇するまでの時間 $T\theta 2$ は、インダクタンス $L$ が小さい場合の時間 $T\theta 1$ より大きくなる。インダクタンス $L$ と電気角 $\theta$ とは、この実施例では、図6のように、電気角 $\pi$ (180度)を中心に対称の相関関係を示した。図6において、実線は、U-VW間のインダクタンスと電気角の関係の実測値の一例を示し、破線は、V-WU間のインダクタンスと電気角の関係の実測値の一例を示す。なお、以上の説明は、回転子50が停止している場合を前提としている。実施例では、これらの関係を予め測定し、メモリ122に記憶する。

【0039】各相に流れる電流が所定値に達するまでの時間 $T\theta$ を測定すれば、巻線のインダクタンス $L$ を知ることができる。インダクタンス $L$ が分かれば、回転子50の有り得る回転位置、即ち電気角 $\theta$ が判明する。なお、図7に示すように、所定電圧 $E$ のパルスを印加し、この電圧 $E$ に対してコイルに流れる電流の最大値を測定することによっても、回路のインダクタンスを知ることができる。この場合には、インダクタンスが小さい場合の最大電流値 $I_{m1}$ は、インダクタンスが大きい場合の最大電流値 $I_{m2}$ より、大きな値となる。

【0040】図6に示した実測値では、電気角とインダクタンスとの関係は、 $0 \sim \pi$ と $\pi \sim 2\pi$ とで異なっているが、電気角とインダクタンスとは、本質的には $0 \sim \pi$ と $\pi \sim 2\pi$ とでは、同一の関係をしめすものである。しかし、両区間の区別がつかないと、電流値の測定から電気角を求めることが困難なため、実施例では、両者の関

\*とが可能となっている。この点については、後で詳細に説明する。

【0037】次に、かかる構成の三相同期モータ40およびこれを制御するモータ制御装置10において、回転子50の電気角を検出する原理および実際の構成について詳しく説明する。図4は、三相同期モータ40の等価回路図である。図示するように、三相同期モータ40のU相とVW相間に所定の電圧 $E1$ をステップ関数的に加えた場合、ここに流れる電流 $I_u(t)$ は、回路のインダクタンス成分 $L$ により定まる過渡応答を示す。この過渡応答の一例を示したのが、図5のグラフである。なお、回路のインダクタンス $L$ は、その時の回転子50の電気角 $\theta$ の関数となっている。即ち、回転子50が回転していない状態(静止状態)にあるとすれば、この回転子50のd軸が電氣的にq軸に対してなす角(電気角)により、回路のインダクタンス $L$ は定まる。

【0038】図4に示す等価回路において流れる電流(以下、U相電流と呼ぶ) $I_u(t)$ は、次式(1)の応答を示す。

係を図6に示すように、両区間で異なったものとしている。電気角とインダクタンスとを、両区間で異なる関係とする方法については後述するが、本実施例では、電気角とインダクタンスとは図6に示すように高次の関数であり、その関係は、実測され、メモリ122にテーブル形式で記憶されている。図示するように、一つの相間の回路におけるインダクタンスが同じになる電気角 $\theta$ は複数存在する場合があるので、1相についてのインダクタンスが分かっても、電気角 $\theta$ は一義的には定まらない。この様子を図6に従って説明する。U相について、その電流が所定値に達するまでの時間 $T\theta 2$ もしくは所定電圧 $E$ のパルスを印加した場合の最大電流 $I_{m2}$ から求めたインダクタンスが $L2$ であったとすると、U相に関するグラフから有り得るとされる電気角としては、 $\alpha 1$ ないし $\alpha 4$ の4つが見いだされる。

【0041】次に、同様にV相についてそのインダクタンスを測定する。V相の電気角 $\theta$ とインダクタンス $L$ との関係は、U相についての関係を位相120度だけずらしたものとなっている。V相について、その電流が所定値に達するまでの時間 $T\theta 1$ もしくは所定電圧 $E$ のパルスを印加した場合の最大電流 $I_{m1}$ から求めたインダクタンスが $L1$ であったとすると、V相に関するグラフから有り得るとされる電気角としては、 $\beta 1$ ないし $\beta 4$ の4つが見いだされる。従って、U相に関する値とV相に関する値とが、共に満足される点として、電気角 $\alpha 1$ ( $=\beta 1$ )が、回転子50の実際の電気角として決定される。

【0042】実際に電気角を検出するためのCPU120内の処理について説明する。図8は、CPU120が実施する電気角検出処理ルーチンを示すフローチャート

である。図示するように、CPU120は、この処理が起動されると、まずU-VW間に所定電圧E1を印加すると共にCPU120に内蔵したタイマをスタートさせる(ステップ200)。所定電圧E1の印加は、予め定めた信号を電圧印加部130に出力することにより行なわれる。続いて電流検出器102の出力をADC112を介して読み取り、U相電流 $I_u(t)$ を検出する(ステップ205)。読み取ったU相電流 $I_u(t)$ が所定値 $I_{ref}$ に達したか否かを判断し(ステップ210)、達した場合にはその時間 $t$ をタイマの経過時間 $T_{u\theta}$ として読み取る(ステップ215)。

【0043】次に、U-VW間の電圧の印加を止め、所定時間経過してから、V-WU間に所定電圧E1を印加すると共に、再度タイマを0からスタートさせる(ステップ220)。続いて電流検出器104の出力をADC114を介して読み取りV相電流 $I_v(t)$ を検出する(ステップ225)。読み取ったV相電流 $I_v(t)$ が所定値 $I_{ref}$ に達したか否かを判断し(ステップ230)、達した場合にはその時間 $t$ をタイマの経過時間 $T_{v\theta}$ として読み取る(ステップ235)。その後、読み取った二つの経過時間 $T_{u\theta}$ 、 $T_{v\theta}$ から、メモリ122に記憶したテーブルを参照し、両経過時間から定まる最大4個の電気角 $\alpha_1$ ないし $\alpha_4$ 、 $\beta_1$ ないし $\beta_4$ を求める(ステップ240)。更に、これらの電気角の差が許容値 $\varepsilon$ 以下となる組み合わせ、即ち

$$|\alpha_m - \beta_n| \leq \varepsilon$$

となる組み合わせを求め、これを電気角として出力する(ステップ245)。出力された電気角の信号は、モータ制御回路100に出力され、モータ40を起動させる際の回転子50の回転位置の情報として、起動時のU、V、W各相に印加する信号の位相の設定に用いられる。

【0044】以上説明した実施例によれば、回転子50が停止している状態でも、巻線のインダクタンスを利用して三相同期モータ40をスムーズに始動し、所望の制御を回転開始時から行なうことができる。しかも、回転子50の回転位置(電気角)を検出するセンサを別に設ける必要がない。なお、U-VW間の巻線に印加する電圧E1の大きさもしくはその印加時間を、モータの起動トルクを上回る電流が流れる電圧もしくは印加時間以下に抑えておけば、モータ40が起動するおそれはない。この結果、停止状態でも電気角 $\theta$ を検出して制御可能なセンサレスの同期モータ制御装置10を容易に構成することができ、装置の小型化、高信頼化も達成される。起動時に、不慮のモータの回転を生じることもない。

【0045】次に、本発明の第2実施例について説明する。第2実施例の電気角検出装置を含むモータ制御装置は、図9に示すハードウェアの構成を備え、モータが起動した後も、電気角を検出する点で第1実施例と異なる。図9に示すように、第2実施例のモータ制御装置250は、第1実施例と基本的な構成は同一であり、AD

C112、114に代えて、電流検出器102、104からの信号を処理するバンドパスフィルタ262、264、バンドパスフィルタ262、264の出力信号のエンベロープ(包絡線)を取り出すエンベロープ検出部272、274を備える。また、第2実施例では、電圧印加部130に対して高周波信号を発生する高周波発生部260を備える。

【0046】この高周波発生部260は、図10ないし図12に模式的に示すように、三相同期モータ40の各巻線U、V、Wに印加される交流電圧 $V_b$ の周波数(モータの回転速度を決定する周波数であり、例えば0ないし300Hz)に対して、これと弁別可能な程度に高い周波数(例えば1桁以上高い周波数5ないし10KHz)の電圧信号 $V_h$ を発生する回路である。電圧印加部130では、図12に示すように、モータ電流制御回路100からの指令により出力する駆動用の交流電圧 $V_b$ に、高周波発生部260が出力する高周波信号 $V_h$ を重ねた信号を生成し、これを三相同期モータ40の各巻線に印加する。

【0047】第1実施例について説明したように、各巻線間のインダクタンスは、回転子50の回転に伴い、即ち電気角の変化により変化するため、印加する電圧信号中に含まれる高周波成分によって各巻線に流れる電流も時時刻刻と変化する。電流検出器102、104により検出したこのU相電流 $I_u(t)$ 、V相電流 $I_v(t)$ を図13に示す。なお、図13では、検出値を、電流検出器102、104の出力する検出信号 $V_s$ として示した。この信号 $V_s$ を入力するバンドパスフィルタ262、264は、高周波発生部260で発生した高周波成分を中心とする所定周波数幅の信号のみを通過させるから、バンドパスフィルタ262、264の出力信号 $V_p$ は、図14に示すように、信号 $V_s$ に重畳されている高周波成分のみを抽出したものとなる。更に、この信号 $V_p$ をエンベロープ検出部272、274に入力し、信号のプラス側の包絡線を取り出したものが、図15に示す信号 $V_e$ である。

【0048】CPU120は、三相同期モータ40の回転制御を行なう際、図16に示す電気角検出処理ルーチンを繰り返し実行する。即ち、まずサーチ電流の振幅 $I_u$ 、 $I_v$ を読み取る処理を行なう(ステップ280)。この処理は、ある時点での振幅を、U相およびV相について読み取るものであり、U相とV相の電流振幅は、図17に示すように、位相がずれた形で変化しているので、それぞれ読み取ることができる。その後、メモリ122に予め記憶したテーブルを参照し、第1実施例で説明したのと同様の考え方で、電気角を判定する(ステップ285)。メモリ122には、U相についての電流振幅とV相についての電流振幅とを記憶しておく。検出した両振幅によりこのテーブルを参照し、該当する電気角を一意に決定する。

【0049】こうして電気角を決定した後、モータ電流制御回路100に出力している電気角のデータを更新する(ステップ290)。モータ電流制御回路100は、第1実施例と同様、トルク指令値と現在の出力トルクとに基づいて、三相同期モータ40の駆動電流を計算するが、その際、CPU120が出力する現在の電気角の情報を参照して、駆動電圧の周波数および位相を決定する。

【0050】以上のように構成された本実施例のモータ制御装置250では、回転中の回転子50の電気角をセンサレスで検出することができる。従って、モータ制御装置250の構成を簡略にし、信頼性の高い装置を実現することができる。なお、駆動電流を0として高周波成分のみ出力すれば、回転子50が停止している場合の電気角を検出することも容易である。

【0051】駆動用の印加電圧を0とした場合、各相に印加される電圧は、高周波成分のみとなる。第2実施例では、重畳する信号は矩形波として説明したが、これを例えば図18に示すように、振幅V0の交流波形に近い形とすることができる。この場合、電流検出器102、104が検出する電流は、図18下欄に示すものとなり、その頂点Pにおける振幅値isは、次式(2)となる。ここで、Rは、回路のインピーダンスであり、ωは印加する電圧の周波数をfとして $\omega = f / 2\pi$ となる値である。

$$i_s = V_0 / (R^2 + \omega^2 L^2)^{1/2} \quad \dots (2)$$

【0052】従って、上記実施例と同様、この電流振幅値isをU相、V相の各々について求め、これから現在の電気角を求めることができる。この場合には、パルス電圧を加える場合と較べて三相同期モータ40から発生する音がほとんどないという利点がある。もとより印加する交流信号の周波数を可聴域外とすれば、使用者が感じる騒音は、一層低減される。

【0053】以上説明した二つの実施例では、電気角とインダクタンスとの関係は、電気角 $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ で、異なったものとなっていた。両区間における電気角とインダクタンス、延いては電気角と検出された電流値との関係は、図19(A)、(B)に示すように、本質的には同一となるものであり、上記実施例では、次の構成により、これを異なったものとした。

【0054】磁性体の外部から加える磁束Hと磁性体内部の磁束Bとの関係は、図20に示すように、外部から加える磁束Hが一定以上となると内部の磁束Bが飽和し、非線形性を示すことが知られている。外部磁束Hと内部磁束Bとの間には、次式(3)の関係があることが知られている。

$$B = \mu(H) \cdot H \\ = \{L(H) \cdot D / N^2 A\} H \quad \dots (3)$$

D: 磁路長、N: コイルターン数、A: 磁路断面積

【0055】式(3)において、D、N、Aは定数なの

で、インダクタンスL(H)も非線形性を有することになる。ところで、永久磁石を用いた同期モータでは、回転子50上に永久磁石が存在するから、例えばU相の磁性体にとっての外部磁界は、回転子50の永久磁石による磁界とコイルに流れる電流による磁界との総和となる。図20に示すように、U相の鉄芯に永久磁石のN極が対向している状態では、鉄芯内の磁束は、点aの関係となっている。ここから電流を図4に示すように、U相からVW相に流すと、コイル電流による磁束が加わって、鉄芯内の磁束は点bの関係となる。電流が小さいと点aと点bとで差はほとんどみられないので、ある程度大きな電流を流す必要があり、しかも点bが非線形領域に入っている必要がある。従って、流す電流の大きさは、実験的に求めておく。

【0056】他方、永久磁石のS極が対向している場合には、永久磁石による外部磁束Hと鉄芯内部の磁束Bとは、図20の点cの関係となっており、コイルに同方向に、上記点aから点bまで移動するのに要したのと同じ大きさの電流を流すと、両者の関係は、点dまで移動する。コイルに同方向、同値の電流を流した場合の外部磁束と内部磁束との間の変化は、一方が非線形領域に入る変化となっており、他方が線形領域内での変化に留まる点で異なる。従って、コイルに、非線形領域に入る大きさの電流を流すことで、現在N極が対向しているかS極が対向しているかの別、言い換えれば、電気角が $0 \sim \pi$ の領域にあるか $\pi \sim 2\pi$ の領域にあるかを知ることができる。実際、実施例の同期モータ40では、その電気角と電流(インダクタンス)との関係は、図6に示したように、 $0 \sim \pi$ 、 $\pi \sim 2\pi$ で異なる関係となっていた。

【0057】電気角と電流(インダクタンス)との関係を、電気角 $0 \sim \pi$ および $\pi \sim 2\pi$ で異ならせるには、この外、固定子30と回転子50における磁気的な関係を非対称にすることによっても実現可能である。例えば、回転子50側の永久磁石51ないし54のうち、一つおきに、永久磁石52と54の磁化された片面および突極72、74の表面に、磁性体86ないし89を貼付する構成を考えることができる。図21は、同期モータの回転子50と固定子30とを、理解の便を図るために、直線的に描きなおした説明図である。図示するように、回転子50の永久磁石52の下面に磁性体86が、永久磁石54の下面に磁性体88が、突極72の表面に磁性体86が、突極74の表面に磁性体89が、各々設けられている。この場合、磁極を構成する一対の永久磁石51、52に着目すると、磁性体86、87が存在する場合と存在しない場合でその特性は異なるから、電気角と各相に流れる電流との関係は、磁性体86、87の存在しない180度( $0 \sim \pi$ )と、磁性体89の存在する180度( $\pi \sim 2\pi$ )とで、異なったものとなる。

【0058】なお、一つの極対について、磁気的な関係の対称性を崩せば良いことから、固定子30側に磁性体

を設けても良い。この例を図21に、磁性体90、91として示した。また、磁路中に非磁性体の領域を設けても差し支えない。さらに、三相コイルの分巻きを工夫しても実現可能である。

【0059】次に本発明の第3実施例について説明する。上記第1、第2実施例では、電気角と電流（インダクタンス）とが、電気角 $0 \sim \pi$ および $\pi \sim 2\pi$ で異なっているものとし、2つの相に流れる電流を各々検出することで電気角を測定したが、以下の実施例では、図20に示した線形領域を用いて電気角を $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ の範囲内で測定し、その後、追加的に測定を行なつて、電気角がいずれの範囲（ $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ ）に属するかを決定することで、電気角を最終的に求めている。この点で、第1、第2実施例とは異なる。なお、以下の説明において、 $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ のいずれかの範囲内で特定された電気角を $\phi$ と記載し、 $0 \sim 2\pi$ の範囲で一義的に特定された電気角を $\theta$ と呼んで区別する。

【0060】まず、同期モータとその制御装置の構成から説明する。図22は、第3実施例のモータ制御装置の概略構成図である。このモータ制御装置は、三相同期モータ40を駆動する装置であり、演算制御を司る電子制御ユニット（以下、単にECUと呼ぶ）300と、ECU300からの制御信号を受けて実際に三相同期モータ40を駆動するインバータ310とから構成されている。ECU300は、周知のCPU301、ROM302、RAM303などを備えた算術論理演算回路として構成されており、後述するように、検出した各相電流 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ を入力ポート306を介して入力し、電気角の検出を行なうと共に、出力ポート307を介して制御信号をインバータ310へ出力し、各相への通電時間を制御する。

【0061】インバータ310は、ECU300とのインタフェースを司るインタフェース部312、6個の大電力スイッチングトランジスタからなり三相同期モータ40の各相への通電を直接制御する主ドライブ回路314、この主ドライブ回路314をソース側とシンク側でドライブするブリッドドライブ回路316、318、U相、V相、W相の電流を検出する電流検出器320、321、322から構成されている。図中記号「+」「-」には三相同期モータ40をドライブする主電源が接続されており、記号「+V」「-V」には、インバータ310内部の安定化された制御用の正負の電源が、それぞれ図示しない電源回路から接続されている。

【0062】インタフェース部312は、ECU300からの信号を受け取り、ブリッドドライブ回路316、318に必要な信号を出力する回路であり、特に主ドライブ回路314の一对のトランジスタが同時にオン状態とな

らないように、デッドタイムを生成するデッドタイム生成回路を備える。また、ECU300からSHUTDOWN信号が出力された場合に、ブリッドドライブ回路316、318側への一切の信号を遮断するゲートも設けられている。

【0063】ブリッドドライブ回路316、318は、主ドライブ回路314の大電力スイッチングトランジスタを高速でスイッチングさせる回路である。なお、本実施例では、大電力スイッチングトランジスタとして、絶縁ゲートバイポーラモードトランジスタ（IGBT）を使用した。

【0064】この第3実施例の電気角検出装置は、ECU300内部で実現されており、その概要を図23のフローチャートに示した。即ち、ECU300内部で実現された電気角検出装置は、まず、相間に電圧を印加して各相電流を測定し（ステップS330）、 $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ の範囲内での電気角 $\phi$ を演算し（ステップS340）、次に $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ のいずれの範囲かを特定する処理を行ない（ステップS350）、最終的に $0 \sim 2\pi$ の範囲での電気角 $\theta$ を求める（ステップS360）。このうち、所定の相間に電圧を印加して電気角 $\phi$ を $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ のいずれかの範囲で演算する処理（第1ステップ）と、電気角がいずれの範囲に属するかを判定する処理（第2ステップ）とは、独立の処理として扱うことができるので、以下それぞれのステップについて順に説明する。

【0065】＜第1ステップの第1の構成例1-1＞各相間（例えばU-V間）に磁気飽和しない範囲で電圧を加え、電流検出器320ないし322により最大電流 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ を測定しこれをプロットしたものを図24に示す。各相間の電流は、120度ずつずれているから、電気角 $0 \sim 180$ 度に着目すると、各相の最大電流 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ の関係は、30度ずつ変化し、全部で6通りの組み合わせになることが分かる。即ち、

区分1（ $0 \sim 30$ 度）  $\rightarrow I_u > I_v > I_w$   
 区分2（ $30 \sim 60$ 度）  $\rightarrow I_v > I_u > I_w$   
 区分3（ $60 \sim 90$ 度）  $\rightarrow I_v > I_w > I_u$   
 区分4（ $90 \sim 120$ 度）  $\rightarrow I_w > I_v > I_u$   
 区分5（ $120 \sim 150$ 度）  $\rightarrow I_w > I_u > I_v$   
 区分6（ $150 \sim 180$ 度）  $\rightarrow I_u > I_w > I_v$

【0066】各区分の各相最大電流のうち、中間の大きさを持つもの（例えば区分1では $I_v$ 、区分2では $I_u$ ・・・）をこの区分で直線であるとみなして近似することができる。この例であれば、各相最大電流の平均値を $I_{av}$ 、 $n$ 番目の区分で直線近似する電流を $I_n$ 、直線の傾きを $m$ として、電気角 $\phi$ は、次式（4）により求めることができる。

$$\theta = (n-1) \times 30 + 15 + \text{sgn} \times (I_{av} - I_n) \times m \quad \dots (4)$$

なお、ここで、 $\text{sgn}=1$ :区分1, 3, 5,  $-1$ :区分2, 4, 6である。即ち、奇数区分では $\text{sgn}$ は値1であり、偶数の区分では $\text{sgn}$ は値 $-1$ である。また、区分1, 4では $I_n=I_v$ 、区分2, 5では $I_n=I_u$ 、区分3, 6では $I_n=I_w$ である。

【0067】本実施例では、電流の全体的な平均値 $I_{av}$ は110Aであった。一例として、 $I_u=130A$ 、 $I_v=95A$ 、 $I_w=112A$ であったとすると、これらの値の大小関係( $I_u>I_w>I_v$ )から区分6であることが分かり、 $n=6$ 、 $\text{sgn}=-1$ として式(4)を計算し、 $\theta=168$ を得る。なお、この例では実測値の平均値は、 $(130+95+112)/3=112.3$ となつて、予め推定した平均値110Aと一致していない。この場合には、実際の平均値を用いて計算しても良い。この場合には、上記の例では、 $\theta=165$ となる。

【0068】上記の例では、各相最大電流 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ は実測したが、全体的な平均値 $I_{av}$ が制御上から求められる場合には、例えば $I_u$ 、 $I_w$ のみ実測し、 $I_v$ は、実測された $I_u$ 、 $I_w$ と平均値 $I_{av}$ とから計算により求めるものとしても差し支えない。この場合には、3\*

区分	$\Delta I_u$	$\Delta I_v$	$\Delta I_w$
区分1 a (-15~15度)	正(極値)	負	負
区分2 a (15~45度)	正	正	負(極値)
区分3 a (45~75度)	負	正(極値)	負
区分4 a (75~105度)	負(極値)	正	正
区分5 a (105~135度)	負	負	正(極値)
区分6 a (135~165度)	正	負(極値)	正

従つて、図25に示したように、この実施例での区分1 aないし6 aは、 $-15$ 度を起点として各々30度ずつである。その区分内で近似計算に使用される部分を、図25に太線で示した。

【0071】上述した6つの区分毎に、上記式(5)に $\Delta I_u$ 、 $\Delta I_v$ 、 $\Delta I_w$ を入れ換えた式を用いて演算を行なえば、電気角 $\phi$ を求めることができる。式(5)は、位相が0度付近での近似式なので、各区分 $n$ 毎に、 $30 \times (n-1)$ 度ずつ加える処理も必要となる。各区分毎の近似式を示すと、 $A=\Delta I_v-\Delta I_w$ 、 $B=\Delta I_u-\Delta I_v$ 、 $C=\Delta I_w-\Delta I_u$ と定義して、

区分	近似式
1 a	$\sqrt{3}A/6\Delta I_u$
2 a	$30+\sqrt{3}B/6\Delta I_w$
3 a	$60+\sqrt{3}C/6\Delta I_v$
4 a	$90+\sqrt{3}A/6\Delta I_u$
5 a	$120+\sqrt{3}B/6\Delta I_w$
6 a	$180+\sqrt{3}C/6\Delta I_v$

となる。

【0072】この手法により第1ステップの演算を行ない、電気角 $\phi$ を求めることができる。上述した構成例1-1と比べると、除算が必要となる分、演算に時間を要するが、三相同期モータ40の特性の相違による影響を

\*つの電流検出器320ないし322のうち、実測に用いない一つは不要となる。

【0069】<第1ステップの第2の構成例1-2>余弦波の信号の場合、位相が角度0の近傍では、 $\theta \approx (\tan 2\theta)/2$ という近似式が成り立つことが知られている。各相最大電流 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ は、その位相が120度ずつずれていることから、この近似式を各相電流で展開すると、次式(5)を得る。

$$\theta \approx (\tan 2\theta)/2$$

$$10 \text{ 右辺分子} = \sqrt{3}(I_B - I_C)$$

$$\text{右辺分母} = 2\{2I_A - (I_B + I_C)\} = 6I_A$$

$$\dots (5)$$

ここで、 $I_A$ は位相が0度付近で極値を取っている相間電流の平均値との偏差であり、 $I_B$ 、 $I_C$ は、その他の相間電流の平均値との偏差である。なお、一つの相間電流が極値を取っているとき、他の2つの相間電流の平均値からの偏差の符号(±)は、同一となる。各相間電流 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ の平均値 $I_{av}$ からの偏差 $\Delta I_u$ 、 $\Delta I_v$ 、 $\Delta I_w$ の符号と区分の関係を以下に示す。

【0070】

受け難く、予め各パラメータの測定を行なう必要がないという利点が得られる。以上の演算処理をECU300が実行する様子を図26に示した。図示するように、まず、U-VW相間に電圧を短時間印加する処理を行なう(ステップS331)。この電圧は、磁気飽和を生じさせない程度の電圧・時間である。その上で、U-VW相間に電圧を印加したときU相に流れる最大電流 $I_u$ を測定する処理を行なう(ステップS332)。同様の処理をV-WU相間、W-UV相間についても繰り返す(ステップS333ないし336)。

【0073】こうして得られた最大電流 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ を用いて、上述した近似式(4)もしくは(5)を用いた近似計算を行ない、電気角 $\phi$ を $0 \sim \pi$ (180度)もしくは $\pi \sim 2\pi$ (360度)の範囲で求める処理を行なう(ステップS338)。なお、ここでは、全相間の最大電流 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ を求めたが、全電流の平均値 $I_{av}$ が分かれば、2つの最大電流を求め、他の一つは演算により求めるものとしても差し支えない。

【0074】以上の処理により、第1ステップとして、電気角 $\phi$ を $0 \sim \pi$ (180度)もしくは $\pi \sim 2\pi$ (360度)の範囲で演算することができた。しかし、これでは、回転子50の電気角は一意には決まらないので、これを特定する処理(第2ステップ)が必要となる。そこ

で、以下この第2ステップの処理のいくつかの例を説明する。

【0075】＜第2ステップの構成例2-1＞第1ステップでは、磁気飽和しない程度の磁束となるように、相間コイルに印加する電圧を制限したが、第2ステップでは、磁気飽和による非対称性を利用して、第1ステップで求めた電気角 $\phi$ が、 $0 \sim \pi$ （180度）もしくは $\pi$ （180度） $\sim 2\pi$ （360度）のいずれの範囲に属するか、即ち図24、25に示した区分1a、2a、3a、4a、5a、6aと区分1a'、2a'、3a'、4a'、5a'、6a'のいずれに属するかを判定する。図27に示すように、磁気飽和する電圧を印加した場合、U-VW相間に流れる最大電流 $I_{u2}$ は、区分1aないし6aと区分1a'ないし6a'で、異なったものとなる。いま、第1ステップの構成例1-2により、電気角 $\theta$ が $-15 \sim 15$ 度の区分1aと $165$ 度 $\sim 195$ 度の区分1a'のいずれかにあることが計算されたとする。この場合、区分1aか区分1a'のいずれかが区別できれば、電気角 $\theta$ は最終的に $0 \sim 2\pi$ の範囲で一意に求められることになる。

【0076】磁気飽和を起こすような電圧に対する最大電流 $I_{u2}$ に着目とすると、区分1aで最大電流 $I_{u2}$ が取り得る範囲は、電流aからbまでである。一方、区分1a'では、電流dからeまでの値を取り得る。従って、電流bからcまでの間に閾値 $I_{ref}$ を設けておけば、最大電流 $I_{u2}$ が閾値 $I_{ref}$ より大きいかなにかにより区分1aか1a'のいずれに属するかを判定することができる。同様に、区分2aと区分2a'とについても、区分2aで取り得る電流の範囲が図示bからcまでであり、区分2a'で取り得る電流の範囲が図示eからfであることから、閾値を電流cとeの間に設定することにより、最大電流 $I_{u2}$ に基づいて、判定することができる。

【0077】区分3aと区分3a'については、最大電流 $I_{u2}$ では、その取り得る範囲が重複しているため区別することができない。そこで、この場合には、V-WU相間に電圧を印加した場合の最大電流 $I_{v2}$ を用いて判定を行なう。区分3a、3a'および区分4a、4a'における最大電流 $I_{v2}$ は、区分1a、1a'および区分2a、2a'における最大電流 $I_{u2}$ と同じ関係にあるので、同一の閾値 $I_{ref}$ を使用することにより、区分3aと区分3a'、区分4aと区分4a'を区別することができる。同様に、区分5a、6aについては、最大電流 $I_{w2}$ を用いて判定を行なうことができる。なお、閾値 $I_{ref}$ については、予め電流b、c、d、e等を測定し、適切な値を求めておけばよい。

【0078】以上の考え方に従い、ECU300が実際に行なう第2ステップの処理（図23のステップS350、360）の詳細を示したのが、図28のフローチャートである。図28に示すように、この処理ルーチン

は、第1ステップに引き続き実行され、まず区分1aないし6aのいずれの区分について判別を行なうかを判定する（ステップS351）。区分1a、2aと区分1a'、2a'を判別する場合には、次にU-VW相間に磁気飽和領域の電圧を印加し（ステップS352）、最大電流 $I_{u2}$ を測定する（ステップS353）。同様に、区分3a、4aと区分3a'、4a'を判別する場合には、V-WU相間に磁気飽和領域の電圧を印加し（ステップS354）、最大電流 $I_{v2}$ を測定する（ステップS355）。区分5a、6aと区分5a'、6a'を判別する場合には、W-UV相間に磁気飽和領域の電圧を印加し（ステップS356）、最大電流 $I_{w2}$ を測定する（ステップS357）。

【0079】次に、測定した最大電流が閾値 $I_{ref}$ より大きいかなにかの判定を行ない（ステップS358）、大きい場合には、判定しようとした区分はそれぞれ1a、2a、3a'、4a'、5a、6aであると判定する（ステップS359a）。他方、最大電流が閾値 $I_{ref}$ より小さければ、判定しようとした区分は1a'、2a'、3a、4a、5a'、6a'であると判定する（ステップS359b）。こうして電気角の属する区分が特定されるので、この判断と第1ステップで求めた電気角の値とを併せて、最終的に電気角 $\theta$ を決定する処理を行なう（ステップS360）。

【0080】以上説明した第3実施例の構成例1-1もしくは1-2と例2-1を組み合わせたものによれば、予め磁気飽和とならない程度の電流により電気角を $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ のいずれかの範囲で計算し、次に判定用の大きな電流を流して電気角を特定することができる。従って、停止している三相同期モータ40の電気角を、高精度かつ容易に測定することができる。また、大電流を流すのを、一度で済ませることができるので、三相同期モータ40に何度も大電流を流して、その特性を劣化させるということがない。また、大電流を流した場合に聞かれる異音も電気角の測定毎に1回で済むという利点がある。

【0081】＜第2ステップの構成例2-2＞次に、電気角 $\phi$ の存在する区分を特定する他の構成例について説明する。上記構成例2-1では、区分1a、2aについて同一の閾値 $I_{ref}$ を用いて判定を行なった（区分3a、4aおよび区分5a、6aについても同じ）。この場合、区分2aの最小値cと区分1a'の最大値dとの間に $c > d$ の関係が成立しなければならず、このため相間に流す電流もある程度大きくなっていた。そこで、この構成例2-2では、判定の閾値を、奇数区分1a、3a、5aと偶数区分2a、4a、6aとで別々に用意するものとした。この場合、奇数区分での閾値 $I_{ref1}$ は、 $b > I_{ref1} > d$ を、一方偶数区分での閾値 $I_{ref2}$ は、 $c > I_{ref2} > e$ を、それぞれ満足すれば足りる。従って、 $c > d$ である必要はなく、図29に示すように、磁気飽

和の領域の各相間電流を小さくすることができる。この結果、相間のコイルにパルス電圧を印加して電流を流したときに生じることのある異音を小さくできる。また、永久磁石51～54に対する消磁の可能性やパルス電圧印加時の電磁障害の可能性等も低減することができる。

【0082】＜第2ステップの構成例2-3＞上記例に対して、更に判定用の電流を低減する手法を検討する。図27、29に示したように、区分1aと区分1a'とを判別しようとする場合には、区分1aでの最大電流 $I_{u2}$ の最小値bと区分1a'での最大値dとは大きく異なっている。従って、区分1aと区分1a'とを判別しようとする場合には、印加する電圧の最大値もしくは印加時間をかなり低減しても、測定された最大電流 $I_{u3}$ から、両者を区別することが可能である。一方、区分2aと区分2a'の場合には、ある程度大きな電流を流さなければ $c > e$ を満足できない。そこで、本実施例では、判別しようとする区分毎に印加する電圧の印加時間を変え、奇数区分1a、3a、5aについての判定であると判断した場合には、各相間に印加する電圧の時間を短く、他方、区分2a、4a、6aについての判定であると判断した場合には、各相間に印加する電圧の時間を通常の値とする。この結果、図30に示したように、相間のコイルに流される電流の最大値を低く抑えることができ、異音の発生、消磁、電波障害の可能性などは、いずれもより一層低減される。特に、同期モータ40においては、ロータが区分1aの位置で大きな電流が流されると、対応する位置の永久磁石51ないし54が最も消磁されるので、この区分での電流を小さくすることができるのは、消磁防止の点から好適である。また、この場合には、構成例2-2に対して、閾値 $I_{ref}$ を一つで済ませることが可能であるという利点も有する。なお、特に説明しなかったが、区分3a、4aと区分3a'、4a'の判別の場合には、V-WU相間に電流を流し、その場合の最大電流 $I_{v3}$ を測定して判定し、区分5a、6aと区分5a'、6a'の判別の場合には、W-UV相間に電流を流し、その場合の最大電流 $I_{w3}$ を測定して判定する。

【0083】＜第2ステップの構成例2-4＞U-VW相間に、U相を正、V相W相を負として、所定の電圧を所定時間印加した場合の最大電流 $I_{u+}$ を実測した一例を図31上段に示した。他方、U相を負、V相W相に正とした場合の最大電流 $I_{u-}$ を図31下段に示した。この最大電流 $I_{u-}$ を極性を入れ換えて、最大電流 $I_{u+}$ と重ねて描いたのが、図32である。図示するように、第1ステップの構成例1-1で示した6つの区分1ないし6に対して、最大電流 $I_{u+}$ は、区分1ないし3および区分4'ないし6'で最大電流 $I_{u-}$ を上回り、区分4ないし6および区分1'ないし3'で最大電流 $I_{u-}$ を下回る。従って、両最大電流 $I_{u+}$ 、 $I_{u-}$ を測定すれば、区分1と1'（2と2'、以下同様）を判別する

ことができる。この場合、処理ルーチンを図33に示した。原理的には、U-VW相間についての最大電流 $I_{u+}$ 、 $I_{u-}$ だけで区分の判別は可能であるが、判別する区分毎に判別電流の相を変えることで、相間に流す電流を低減することが可能になる。即ち、図32に示した最大電流 $I_{u+}$ 、 $I_{u-}$ であれば、区分1、6における $I_{u+}$ と $I_{u-}$ との偏差は、他の区分と比べて大きいからである。従って、区分1、6についてはU-VW相間を用い、区分2、3についてはV-WU相間を用い、区分4、5についてはW-UV相間を用いるものとした。

【0084】図33に示した第2ステップの処理ルーチンが起動されると、まず判別する区分について判定し（ステップS371）、判別しようとする区分が1もしくは6である場合には、U-VW相間にU相を正、V相W相を負として電圧を印加し（ステップS372a）、その最大電流 $I_{u+}$ を測定する（ステップS373a）。続いて印加する電圧の正負を逆にして、つまりVW-U相間に電圧を印加し（ステップS374a）、その最大電流 $I_{u-}$ を測定する（ステップS375a）。その後、両者の絶対値の大小を判別し（ステップS376a）、 $I_{u+}$ の方が $I_{u-}$ より大きければ、区分1もしくは区分6であると判定し（ステップS377a）、 $I_{u+}$ の方が $I_{u-}$ より小さければ、区分1'もしくは6'であると判定する（ステップS378a）。この区間では、両最大電流 $I_{u+}$ と $I_{u-}$ との偏差は大きいから、流す電流が小さくても、区分の判別を的確に行なうことができる。

【0085】同様に、区分2、3については、V-WU相間とWU-V相間にそれぞれ電圧を印加して最大電流 $I_{v+}$ 、 $I_{v-}$ を測定し（ステップS372bないし375b）、その絶対値の大小を判別して（ステップS376b）、 $I_{v+} > I_{v-}$ の場合には区分2'、3'と判定し（ステップS377b）、 $I_{v+} < I_{v-}$ の場合には、区分2、3と判断する（ステップS378b）。他方、区分4、5については、W-UV相間とUV-W相間に電圧を印加して最大電流 $I_{w+}$ 、 $I_{w-}$ を測定し（ステップS372cないし375c）、その絶対値の大小を判別して（ステップS376c）、 $I_{v+} > I_{v-}$ の場合には区分4、5と判定し（ステップS377c）、 $I_{v+} < I_{v-}$ の場合には、区分4'、5'と判断する（ステップS378c）。いずれも場合も、第1ステップにより計算した電気角 $\phi$ と併せて最終的な電気角 $\theta$ （ $0 \sim 2\pi$ ）を決定するのは、区分1、6の場合と同様である（ステップS360）。

【0086】以上説明した実施例によれば、特定の相間に正負の電圧を加えることにより、最大電流の絶対値の大小関係だけで区分1ないし6もしくは区分1'ないし6'の別を判別することができる。従って、閾値等を予め測定して用意したり、印加する電圧・時間を精密に制御するといった必要がない。また、相間に流す電流の大

きさも大小関係を判別するに足りる程度で済ますことができるので、異音の発生を抑え、消磁や電磁障害の発生も低減することが可能となる。実施例では、同一の三相同期モータ40を用いて、電気角検出のために流す電流を、構成例2-3の2/3程度にすることができた。なお、上記実施例では、区分は0〜30度、30〜60度・・・としたが、例1-2で使用了-15〜15度、15〜45度・・・という区分1a, 2a, 3a, ...を用いても差し支えない。第1ステップにおける近似計算の手法に応じて、用い易い区分を採用すること

【0087】第3実施例では、電気角の検出を、第1ステップと第2ステップとに分け、それぞれのステップについて複数の構成例を説明した。これら第1, 第2ステップの構成例は、自由に組み合わせ実施可能である。なお、構成例1-1および2-4において、時間軸上での第1ステップ、第2ステップの処理を示したのが、図34である。第1ステップとして、各相間に順次所定の電圧を加えて、U相、V相、W相の最大電流を順次検出する。この場合、各相に流れた電流が測定上問題とならないレベルまで低下するのを待って次の相間に電圧を印加し、次の相の最大電流を測定することになる。また、第2ステップでは、通常第1ステップで流した電流より大きな電流を流すから、一つの相間に電圧を印加してから、次の相間に電圧を印加するまでに、相当の時間を必要とする。図34に示した第1ステップの区間および第2ステップの区間が終了した時点で、1回の電気角の測定が終了する。三相同期モータ40が停止している場合には、これで起動時の電気角が検出されることになる。

【0088】次に、本発明の第4の実施例について説明する。この実施例の電気角検出装置を含むモータ制御装置390の概略構成を、図35に示す。このモータ制御装置390は、図示するように、第1, 第2, 第3実施例と同様、三相同期モータ40の駆動電流を制御するモータ電流制御回路400、U相およびV相の電流を検出する電流検出器402, 404、検出した電流からモータ40の出力トルクを換算する電流-トルク換算器410、第2実施例で説明したインダクタンス式の電気角検出を行なうインダクタンス式電気角検出部415、逆起電圧を利用して電気角を検出する逆起電圧式電気角検出部420、電気角の信号から回転数を求めると共にこれにヒステリシスを加えて切替接点445を駆動するヒステリシス回路440等から構成されている。なお、図34では、電流検出器として、U相およびV相の電流を検出する402, 404のみ示したが、第3実施例で説明したようにU, V, W相の各電流を検出する場合には、W相の電流検出器を設ければよい。

【0089】インダクタンス式電気角検出部415、逆

起電圧式電気角検出部420、ヒステリシス回路440、およびモータ電流制御回路400は、実際にはマイクロプロセッサを用いた算術論理演算回路として構成されており、図36に示す処理を実行している。この処理について簡単に説明する。この処理が起動されると、まず回転数演算値Nhが判定回転数N以上か否かの判断が行なわれる(ステップS500)。回転数演算値Nhが判定回転数N以上でない場合には、インダクタンス式電気角検出部415を用いて回転子(ロータ)の位置、即ち電気角を推定すると共に、変数Hに値-50を代入する処理を行なう(ステップS510)。

【0090】一方、回転数演算値Nhが判定回転数N以上の場合には、逆起電圧式電気角検出部420を用いて回転子50の位置を推定すると共に、変数Hに値+50を代入する処理を行なう(ステップS520)。いずれの場合にも、その後、現在の回転数を演算する処理を行なう(ステップS530)。回転数は、現在の電気角を微分することにより求められる。微分処理は、ハードウェアにより実現することもできるが、所定時間における電気角信号の差分値から求めることもできる。その後、ステップS530で求めた現在の回転数に変数Hの値を加えて回転数演算値Nhを求める処理を行ない(ステップS540)、電気角とトルク指令値とに基づいて三相同期モータの各相に流す電流を制御する(ステップS550)。以上の処理を繰り返す。

【0091】以上説明した本実施例によれば、三相同期モータ40の回転数に基づいて、検出方法を切り換えて電気角を求めることができる。この様子を図37に示した。三相同期モータ40の回転数が、一旦判定回転数N+50を越えると逆起電圧方式で検出するものとし、その後は判定回転数N-50を下回らないとインダクタンス方式には切り換ええない。即ち、電気角の検出方法の切替に±50のヒステリシスを持たせ、判定回転数近傍で検出方式の切替が、高い頻度で起きないように配慮している。

【0092】ここで、電気角の検出方式を三相同期モータ40の回転数で切り換えているのは、回転数によるモータの効率の変化が検出方式により異なるからである。インダクタンス方式で電気角を検出する場合の効率を図38に実線Jで示し、逆起電圧方式で検出する場合の効率を破線Bで示した。逆起電圧方式の場合、回転子の回転数が低い領域では、得られる逆起電圧が低い低回転数領域ではモータの制御ができなくなる。これは、永久磁石51〜54の位置に対する電流の位相条件が崩れるためであり、この場合、三相同期モータ40は安定にトルクを発生することができなくなる。最悪の場合、電流は流れているのにモータ出力が得られない場合や、回転子50が逆転する場合も有り得た。従って、図38に破線で示すように、低回転数領域では、三相同期モータ40の効率は低くなってしまう。



【0093】他方、インダクタンス方式では、停止状態から所定回転数までの領域では、効率よく電気角を検出することができる。回転数が上昇すると、駆動用交流の周波数は高くなるから、この駆動用交流に重畳する高周波成分（図12参照）との相対的な差は小さくなる。従って、回転数が高くなるほど回転子50の一回転（360度）に含まれる高周波パルスは数は少なくなり、回転子50の回転位置（電気角）の検出精度は低下する。従って、図38に示す2つのグラフの交点を実験的に求め、この回転数近傍で、電気角の検出方式を切り換えることにより、全回転数の範囲に亘って、効率よく三相同期モータ40の電気角を検出することができる。しかも、本実施例では、検出方式の切替回転数にヒステリシスを設けているので、検出精度の差異により、検出方法を切り換えた直後に再度切替が生じるといったことがない。

【0094】上記実施例で、インダクタンス方式により電気角を検出するインダクタンス式電気角検出部415は、第2実施例と同一の構成である。一方、逆起電圧式電気角検出部420の構成は、公知のもの（例えば、平成2年半導体電力変換研究会資料SEP-90-21「位置検出器を持たないブラシレスDCモータ制御系の実現」）である。本実施例の構成を更に詳細にブロック図として表わしたのが、図39である。この構成例では、モータ電流制御回路500は、A/D変換器502によりデジタルデータとして読み込んだU相およびV相の電流を、q軸およびd軸のデータに変換し、これとトルク指令値とから比例・積分（PI）制御を行ない、結果を今度はU、V、Wの三相の信号を変換し、更に、電圧信号に変換すると共に、パルス幅変調をかけ、デッドタイム制御を加えて、三相同期モータ40の各巻線に出力している。

【0095】この時、電気角は、所定回転数以上で回転中の場合には逆起電圧方式電気角演算器520により演算される。この演算は、上記文献に詳しく説明されているものであり、各相電流 $I_u$ 、 $I_v$ およびモータ電流制御回路500内部のU、V、Wの電圧値に基づいて電気角 $\theta$ を微分した値である速度推定値を求めると共に、 $\gamma$ 軸方向の電圧信号 $v_\gamma$ を演算し、各相信号 $I_u$ 、 $I_v$ から推定した推定電圧 $v_\gamma'$ との差分 $\Delta\gamma$ にPI演算を施し、速度推定値の符号により電気角速度を決定すると共に、これに基づきフィードバック電流を算出し、これをモータ電流制御回路500に出力する。こうして、回転子50の回転中は、逆起電圧に基づいて電気角（ここでは電気角速度）を求めることができる。なお、電気角速度は、積分され、電気角信号として三相をd、q軸信号に変換する回路やモータの回転数が所定回転数以下の場合にパルス電圧を所定周期で印加するための回路515に出力される。

【0096】回転子50が静止しているとき、あるいは

所定回転数以下の場合には、各相電流 $I_u$ 、 $I_v$ に基づいて、電気角を演算する。この演算は、インダクタンス方式電気角演算器512が、電気角テーブル522を参照することにより行なう。こうして求めた電気角信号は、逆起電圧方式電気角演算器520の演算結果と、回転数により択一的に採用され、上述したモータの駆動用電流の制御に用いられる。

【0097】次に、本発明の第5実施例について説明する。この実施例は、電気角の検出装置としての構成は、第3実施例と同一（図22参照）であり、モータ制御装置全体としては、第4実施例と同様、低回転数領域では、インダクタンスを用いて電気角の検出して三相同期モータ40の起動および回転を制御し、所定回転数以上では、逆起電圧を用いて電気角を検出しつつ三相同期モータ40の回転を制御するものである。

【0098】本実施例では、インダクタンスを用いて電気角を検出する手法として第3実施例の構成を採ったが、第1または第2ステップにおいて電気角の検出のために相間に電圧を印加する際（図26、28等）、図40に示すように、相間電圧の印加（ステップS600）の直後に加えた電圧に対応した逆電圧を同じ相間に印加する処理（ステップS610）を行なうのである。即ち、コイルに電圧を加え電流を流したことで、電圧の印加の終了後も過渡応答として残存する電流を、逆電圧を加えることで強制的に低下させ、電流を急速に0に収束させるのである。この様子を図41に示した。ここで、逆電圧の印加は、絶対値が等しく、極性が逆の電圧を、測定のために加えた時間 $t_1$ と等しい時間 $t_2$ だけ相間コイルに出力することによりなされる。なお、絶対値の等しい逆電圧の印加により電流はほぼ0に収束するが、電源電圧の変動やデッドタイムの影響による印加時間の変動等に起因して、電流が完全には0に収束していない場合が考えられるので、次の相間への測定用の電圧の印加は、一定時間 $t_3$ だけおいてから行なうものとしている。逆電圧の大きさや印加時間は、適宜変更可能である。

【0099】以上説明したように、最大電流の測定用の電圧の印加して最大電流を測定した直後に逆電圧を印加することで、コイルに流れる電流を急速に収束させることができ、次の電圧の印加が可能となるまでの時間を大幅に短くすることができる。図41と図34を比較すれば了解されるように、本実施例によれば、ロータの電気角の検出に要する時間を、従来の1/3程度に低減することができた。この結果、電気角を繰り返し測定する必要があるケース、即ち低速回転中の電気角の検出が短時間に完了できるものとなり、従来より高い回転数まで、インダクタンスを用いた本発明の電気角測定が可能となった。従って、第4実施例のように、所定回転数までインダクタンスを用いて電気角を検出する装置において、逆起電力による検出に切り換える回転数の設定範囲が広

くなり、設計の自由度も向上した。

【0100】次に本発明の第6の実施例について説明する。第6実施例の電気角検出装置は、第5実施例と同一の構成を持ち、起動時のロータの電気角の検出は、第5実施例と同様第3実施例の第1ステップの構成例1-1および第2ステップの構成例2-1により、行なっている。実施例の三相同期モータ40は、最高回転数が9000rpmであり、逆起電力による電気角の検出は、一般に最高回転数の1/5、即ち180rpmまで可能とされている。従って、180rpmまで、インダクタン

スをを用いた手法で電気角が検出できれば、停止状態から最高回転数まで、電気角を検出することが可能となる。180rpmの場合、回転子50の1回転に要する時間は、180rpm=毎秒3回転なので、1/3秒である。これに対して、図34に示したように、第1ステップでU相、V相、W相の各々について最大電流 $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ を測定するのに要する時間が50msec、第2ステップまで完了するのに要する時間を120msecとすると、ロータの1回転当たり2、3回しか電気角の検出ができないことになる。実際には、ロータの1回転のうち、電気角を複数回測定しつつ、相間に駆動用の電圧を印加してゆかなければならないから、この条件では、電気角を精度良く測定しつつ、駆動用電圧の制御行なうことは極めて困難である。

【0101】そこで、本実施例では、図42に示すように、50msec毎に起動する割込処理ルーチンにおいて、まずフラグF（初期値=0）を判定して回転子50が停止中か否かを判定し（停止中はF=0、ステップS700）、回転子50の停止中であると判断した場合は、まず割込をマスクする処理を行なう（ステップS710）。第1ステップおよび第2ステップの処理を連続して行なうのに、120msec必要になるので、電気角の検出が終了するまで割込をマスクするのである。その後、第1ステップの処理を行ない電気角 $\phi$ （ $0 \sim \pi$ 、 $\pi \sim 2\pi$ のいずれかの範囲内の電気角）を計算する（ステップS720）。続いて、第2ステップによる処理を実行して回転子50が $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ のいずれの範囲に存在するかを特定する処理を行ない（ステップS730）、以上の第1ステップおよび第2ステップから電気角 $\theta$ を検出する処理を行なう（ステップS740）。その後、フラグFに値1を設定すると共に割込マスクを解除する処理を行なう（ステップS750）。以上により、回転子50が停止している場合の電気角 $\theta$ の検出を終了し、本ルーチンを終了する。

【0102】こうして停止中の回転子50の電気角 $\theta$ を一旦検出した後は、フラグFは値1に設定されるから、ステップS710での判断は「NO」となり、第1ステップにより電気角 $\phi$ を計算する処理を行ない（ステップS760）、この電気角 $\phi$ の前回値からの差分 $\Delta\phi$ を用いて、電気角 $\theta$ を更新する処理を行なう（ステップS7

70）。即ち、回転子50の電気角 $\theta$ が一度検出された後は、約50msec程度の間隔で繰り返し第1ステップのみを実行し、計算された電気角 $\phi$ の変化分を用いて電気角 $\theta$ を更新することになる。50msecであれば、180rpmの場合でも、その間の回転子50の回転角度は、 $50 \times 10^{-3} \times 360 \text{度} \times 180 \text{rpm} / 60 = 54 \text{度}$ であって、180度を越えることはない。従って、一旦電気角 $\theta$ を検出した後、50msec間隔で第1ステップの処理を実行していれば、 $0 \sim \pi$ （180度）もしくは $\pi \sim 2\pi$ （360度）のいずれに回転子50が存在するかを誤りなく判定することが可能である。この結果、電気角の検出に必要な処理が第1ステップのみとなり、電気角の検出に要する時間は約1/2に短縮される。

【0103】以上説明したように第6実施例の電気角検出装置によれば、一旦電気角 $\theta$ を一義的に求めた後は、電気角の検出しに要する処理を極めて短縮することができる。従って、三相同期モータ40の回転制御中に電気角の測定に時間を取られて制御が不十分になるということがない。この結果、逆起電力による電気角の測定との切替の回転数を高く設定することができ、設計上の自由度も向上する。

【0104】以上本発明のいくつかの実施例について説明したが、本発明はこうした実施例に何等限定されるものではなく、例えば三相以外の同期モータに適用した構成など、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において、種々なる態様で実施し得ることは勿論である。

#### 【0105】

【発明の効果】以上説明したように本発明の第1の電気角検出装置は、電気角と相関を有する巻線のインダクタンスによって定まる少なくとも二つの電流の挙動を検出し、予め記憶した電流の挙動と電気角の関係を参照して、回転子の位置、即ち電気角を求めるので、特にモータが静止あるいは低回転数の場合に、精度良く電気角を検出することができるという優れた効果を奏する。このため、これを用いて同期モータを駆動するものとすれば、例えば停止しているモータであっても、これを所望の方向に安定に起動することができる。この結果、無駄な電力を消費することもない。

【0106】また、本発明の第2の電気角検出装置は、多相の各組合わせに電圧を印加した際に流れる電流の挙動に基づいて、近似計算により電気角を $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ のいずれかの区間での電気角を演算し、電気角がこのいずれの区間に属するかを特定することで、結果的にロータの電気角を検出する。従って、簡略な構成により電気角を容易に求めることができるという優れた効果を奏する。

【0107】更に、本発明の第3の電気角検出装置は、電気角の演算を近似計算により行なう第2の電気角検出装置において、電気角が $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ までの

いずれの区間に属するかを判定する構成に特徴を有し、ロータの角度と電流の挙動が $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ で異なるものとなる条件を利用して、その判別を行なうので、電気角を最終的に精度良くかつ簡易な構成により検出することができるという優れた効果を奏する。

【0108】更に、本発明の第4の電気角検出装置によれば、一旦電気角を $0 \sim 2\pi$ の範囲で検出・特定した後、電気角を $0 \sim \pi$ もしくは $\pi \sim 2\pi$ のいずれかの範囲内で求め、これにより電気角を更新する。従って、極めて簡易な処理により電気角を求めることができ、低速回転中の同期モータの制御中に電気角の検出に時間を取られて制御が不十分になるということがないという優れた効果を奏する。

【0109】また、本発明の同期モータの駆動装置は、回転子が停止または低速回転している領域では、インダクタンスの相違を利用して電気角を求めると共に、この領域以外では、逆起電圧に基づいて電気角を検出し、これにより巻線に駆動用電圧を印加する。従って、停止状態から高回転数領域まで、精度良く電気角を検出できるばかりか、広い領域に亘って、効率の良いモータ制御を実現できるという優れた効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の概略構成を示すブロック図である。

【図2】実施例の固定子30を組み込んだ三相同期モータ40の構造を示す断面図である。

【図3】実施例で用いた三相同期モータ40の固定子30と回転子50との関係を示す端面図である。

【図4】実施例における三相同期モータの等価回路を示す説明図である。

【図5】U-VW相間に電圧E1を印加した場合のU相電流 $I_u(t)$ の過渡応答を示すグラフである。

【図6】巻線のインダクタンスと電気角 $\theta$ との関係を示すグラフである。

【図7】過渡応答におけるインダクタンスと最大電流との関係を示すグラフである。

【図8】第1実施例における電気角検出処理ルーチンを示すフローチャートである。

【図9】第2実施例としての電気角検出装置を含んだモータ制御装置250の概略構成を示すブロック図である。

【図10】第2実施例における駆動用電圧 $V_b$ を例示するグラフである。

【図11】駆動用電圧に重畳する高周波信号 $V_h$ を例示するグラフである。

【図12】重畳された電圧信号 $V_b$ を例示するグラフである。

【図13】電流検出器の出力信号 $V_s$ を例示するグラフである。

【図14】バンドパスフィルタの出力信号 $V_p$ を例示す

るグラフである。

【図15】エンベロープ検出部の出力信号 $V_e$ を例示するグラフである。

【図16】第2実施例における電気角検出処理ルーチンを示すフローチャートである。

【図17】電気角 $\theta$ と電流振幅 $I_s$ との関係を例示するグラフである。

【図18】モータに印加する電圧の他の例を示すグラフである。

10 【図19】電気角とインダクタンスおよび電流の関係を例示するグラフである。

【図20】三相同期モータの磁気回路における磁気特性を示すグラフである。

【図21】三相同期モータ40のロータとステータとの関係を直線上に展開して示す説明図である。

【図22】第3実施例としての電気角検出装置を含んだモータ制御装置の概略構成図である。

【図23】第3実施例における処理の概要を示すフローチャートである。

20 【図24】第1ステップの近似計算の手法を説明するグラフである。

【図25】第1ステップの他の近似計算の手法を説明するグラフである。

【図26】第1ステップの処理の詳細を例示するフローチャートである。

【図27】第2ステップの第1の手法を説明するグラフである。

【図28】第2ステップの一例を示すフローチャートである。

30 【図29】第2ステップの第2の手法を説明するグラフである。

【図30】第2ステップの第3の手法を説明するグラフである。

【図31】第2ステップの第4の手法を説明するグラフである。

【図32】最大電流 $I_{u+}$ と $I_{u-}$ との関係を例示するグラフである。

【図33】第4の手法による第2ステップの処理ルーチンを示すフローチャートである。

40 【図34】第1、第2ステップの処理を時間軸上に展開して示すグラフである。

【図35】第4実施例としてのモータ制御装置390の概略構成を示すブロック図である。

【図36】第4実施例における電気角検出処理ルーチンを示すフローチャートである。

【図37】回転数による検出方式の切替の様子を例示する説明図である。

【図38】回転数とモータの効率との関係を示すグラフである。

50 【図39】第4実施例のモータ制御装置390の設計例

を示すブロック図である。

【図40】第5実施例における処理の要部を示すフローチャートである。

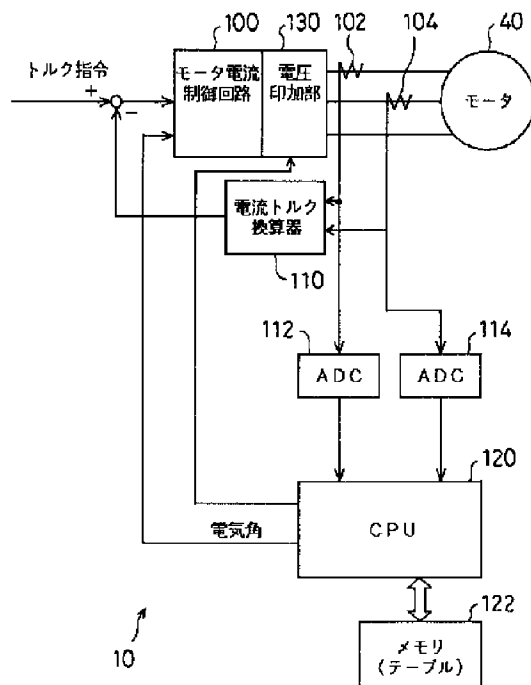
【図41】第5実施例における印加電圧と流れる電流との関係を時間軸に沿って示すグラフである。

【図42】第6実施例における割込処理を示すフローチャートである。

【符号の説明】

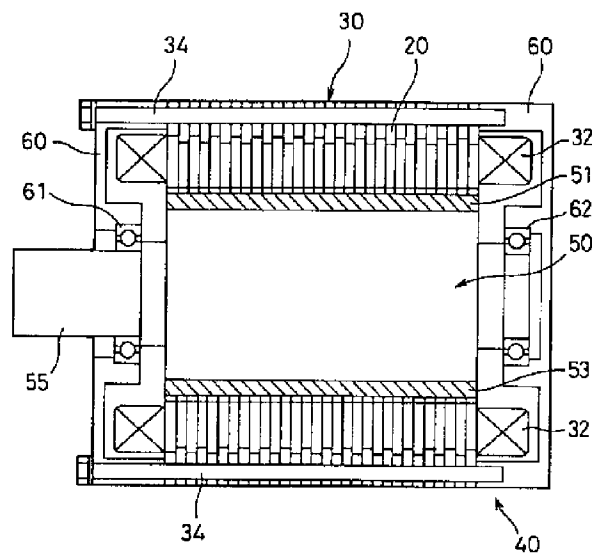
10…モータ制御装置  
20…ステータ  
22…ティース  
24…スロット  
30…固定子  
32…固定子コイル  
34…ボルト  
36…ボルト孔  
40…三相同期モータ  
50…回転子  
52…永久磁石  
55…回転軸  
57…ロータ  
60…ケース  
61, 62…軸受  
71…突極  
100…モータ制御回路  
102…モータ電流制御回路  
104…電圧印加部  
110…電流トルク換算器  
112…ADC  
114…ADC  
120…CPU  
122…メモリ(テーブル)

【図1】

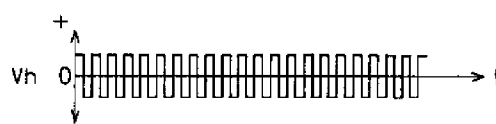


102, 104…電流検出器  
110…トルク換算器  
112, 114…ADC  
120…CPU  
122…メモリ  
130…電圧印加部  
250…モータ制御装置  
260…高周波発生部  
262, 264…バンドパスフィルタ  
272, 274…エンベロープ検出部  
300…ECU  
310…インバータ  
390…モータ制御装置  
400…モータ電流制御回路  
402, 404…電流検出器  
410…トルク換算器  
415…インダクタンス式電気角検出部  
420…逆起電圧式電気角検出部  
440…ヒステリシス回路  
445…切替接点  
500…モータ電流制御回路  
502…A/D変換器  
512…インダクタンス方式電気角演算器  
515…回路  
520…逆起電圧方式電気角演算器  
522…電気角テーブル

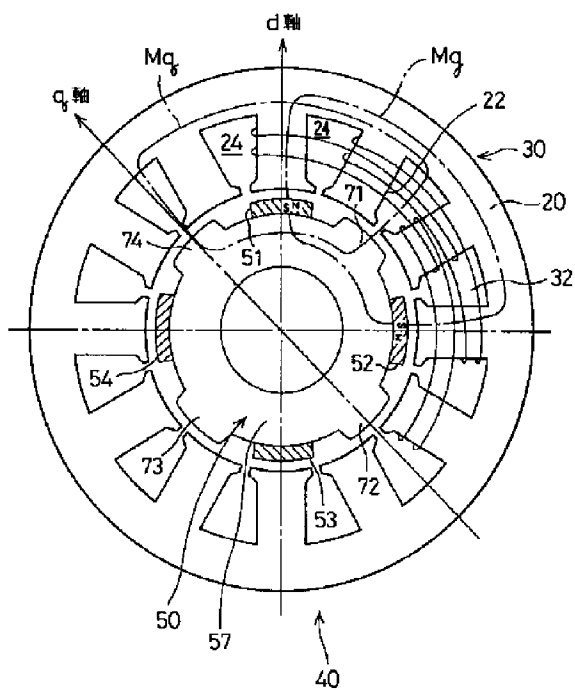
【図2】



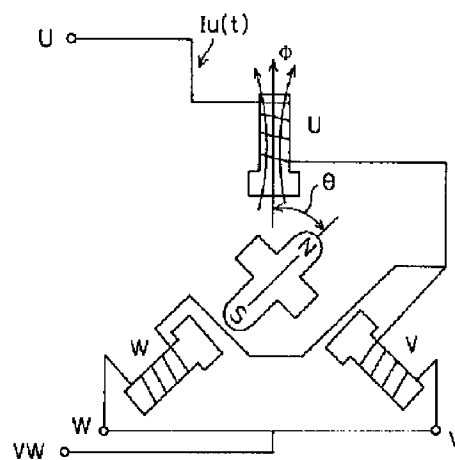
【図11】



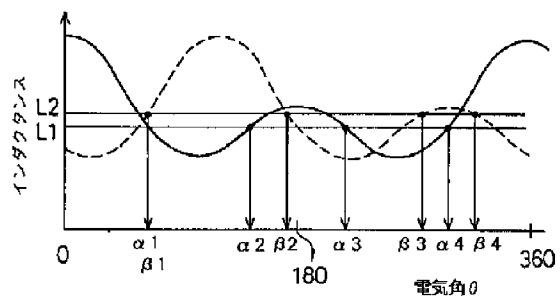
【図3】



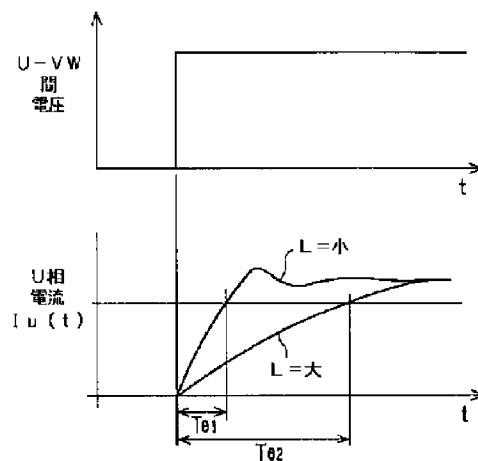
【図4】



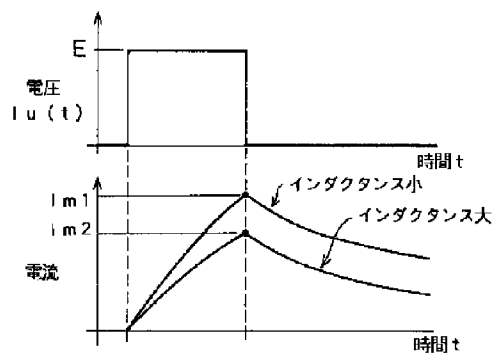
【図6】



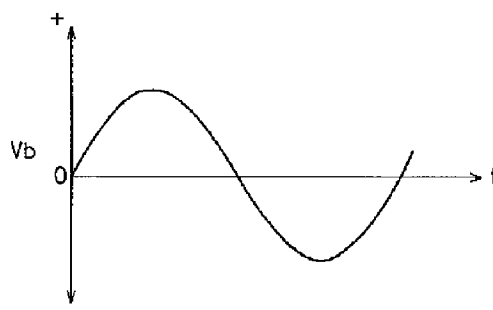
【図5】



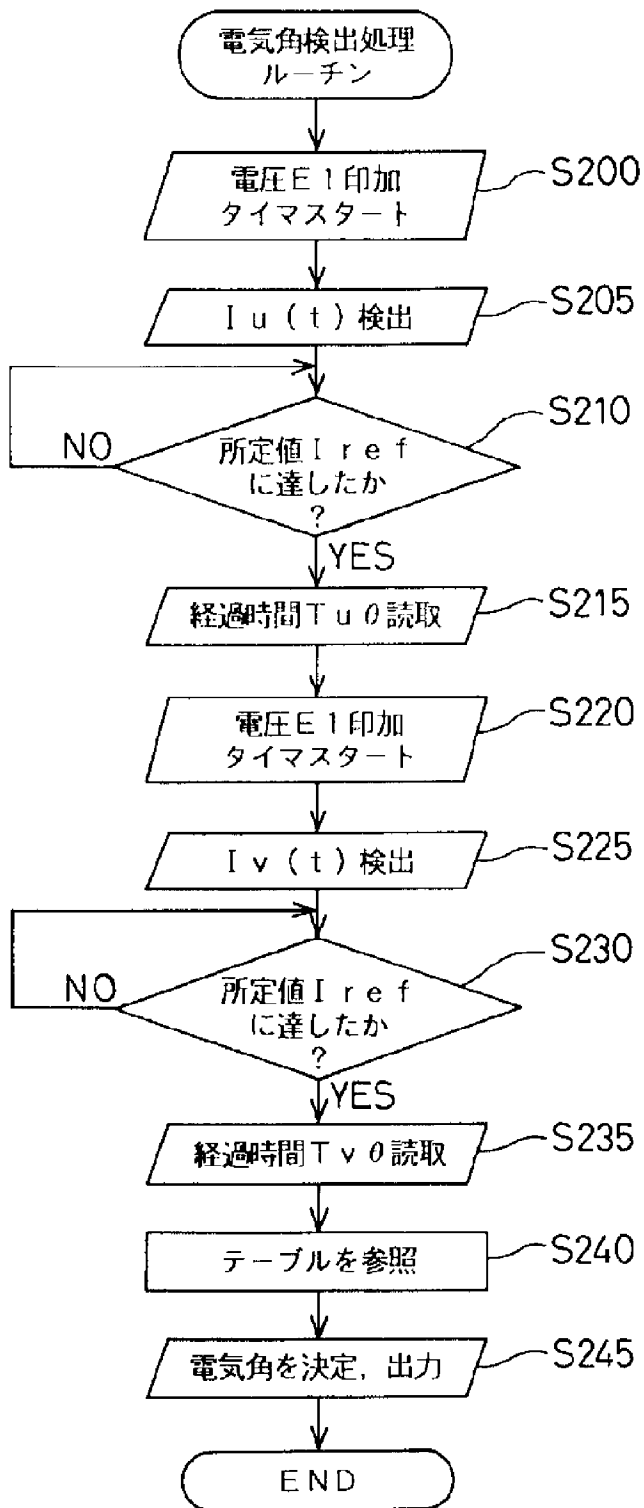
【図7】



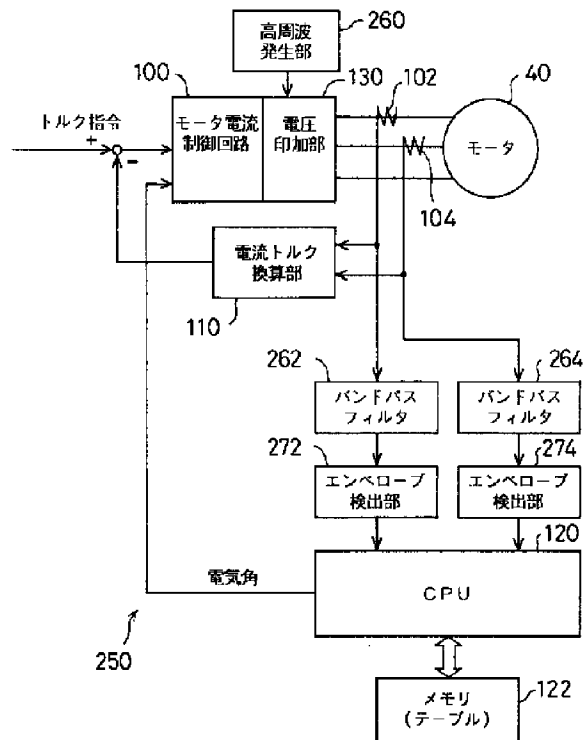
【図10】



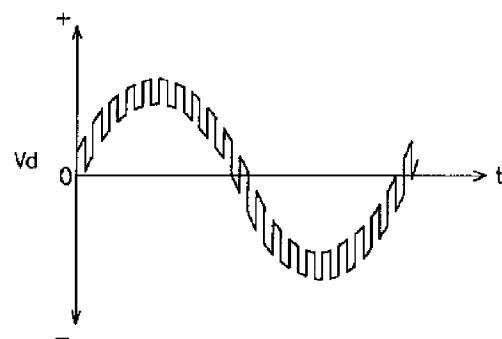
【図8】



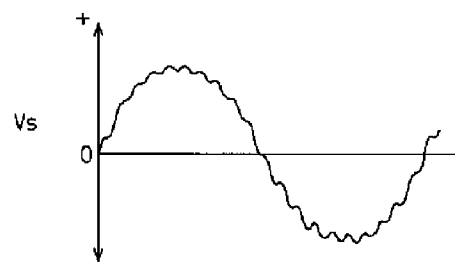
【図9】



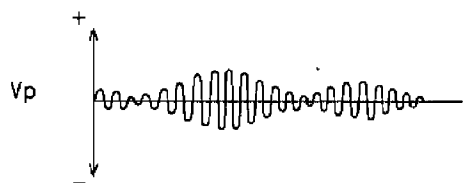
【図12】



【図13】



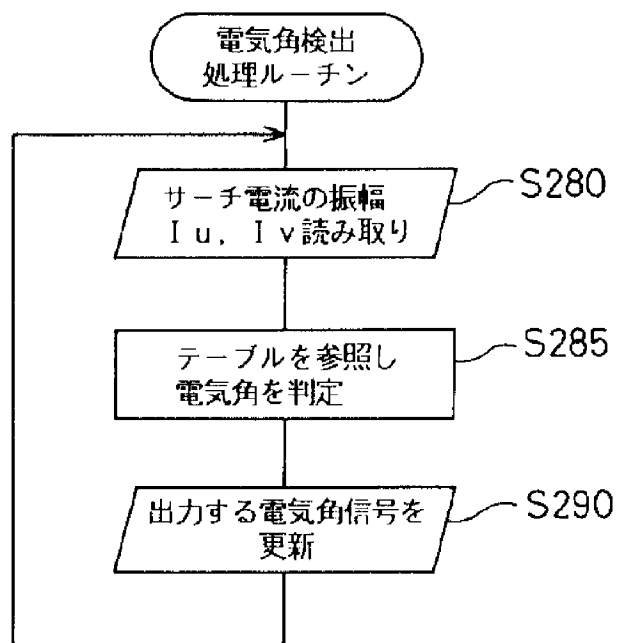
【図14】



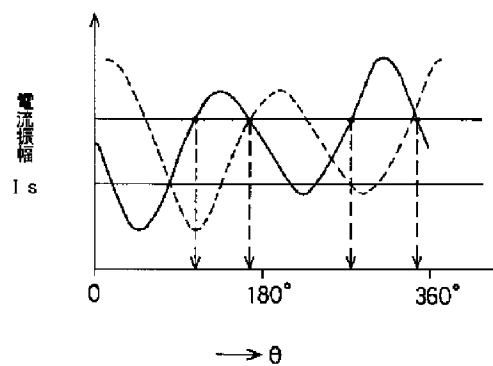
【図15】



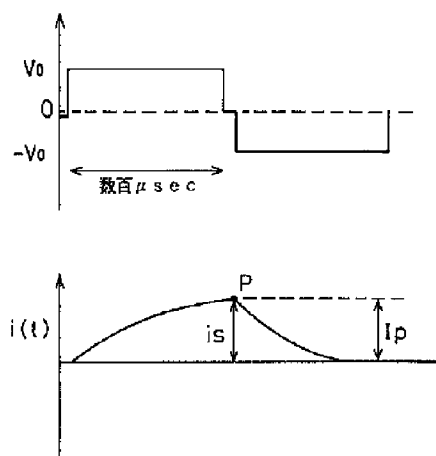
【図16】



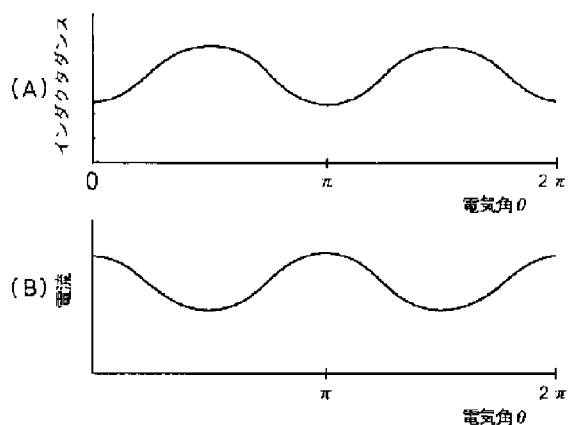
【図17】



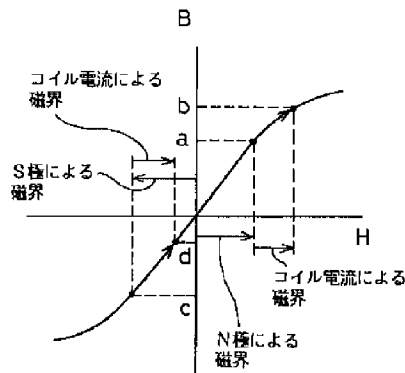
【図18】



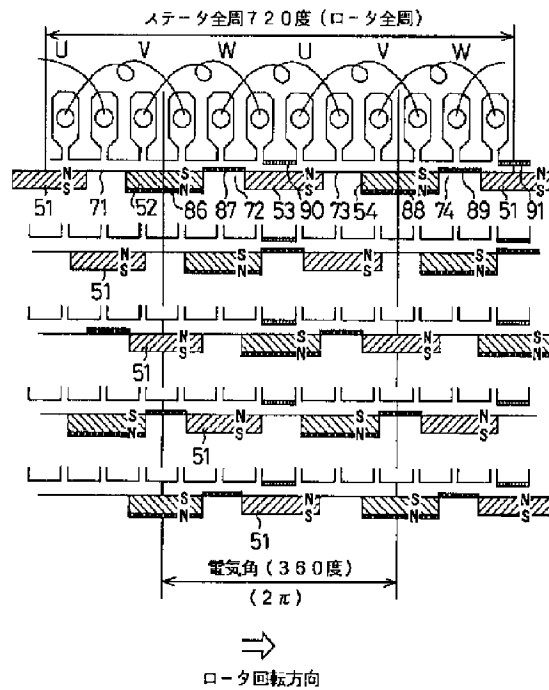
【図19】



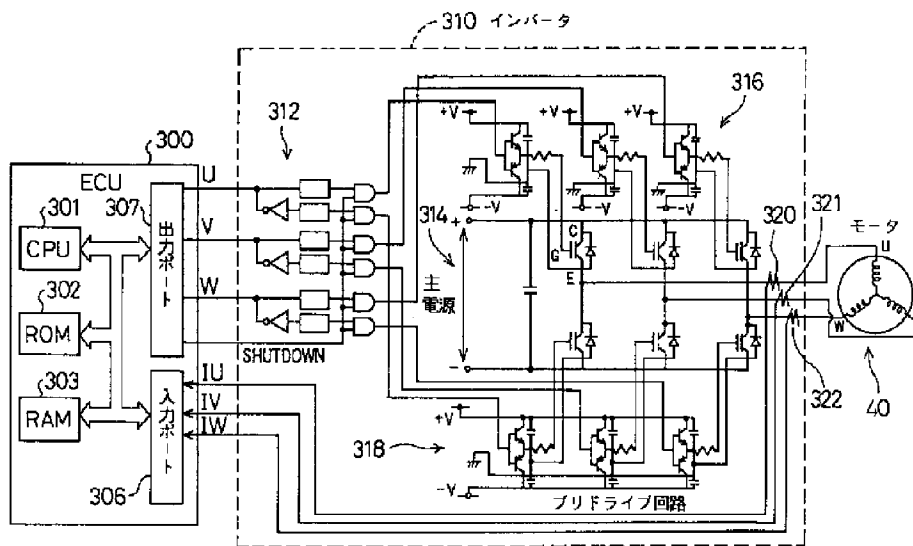
【図20】



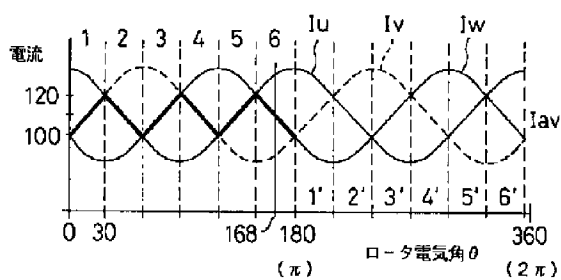
【図21】



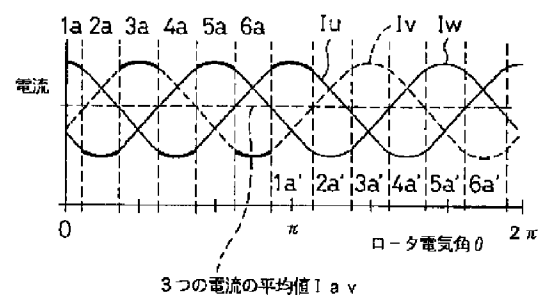
【図22】



【図24】

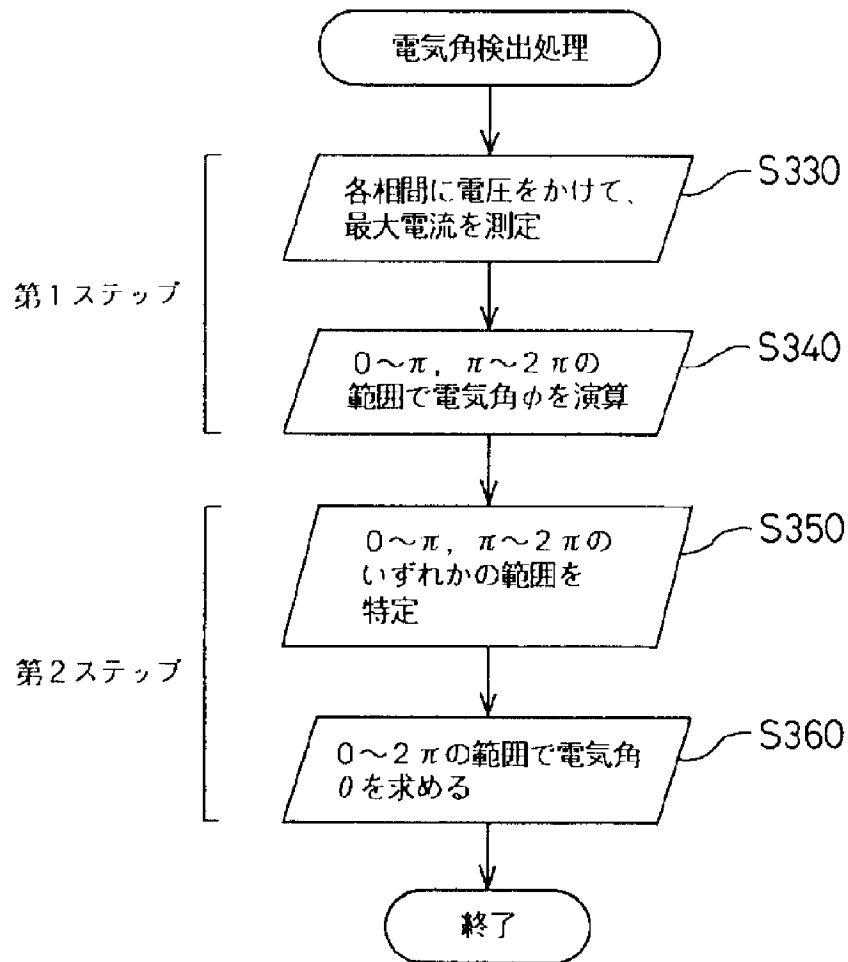


【図25】

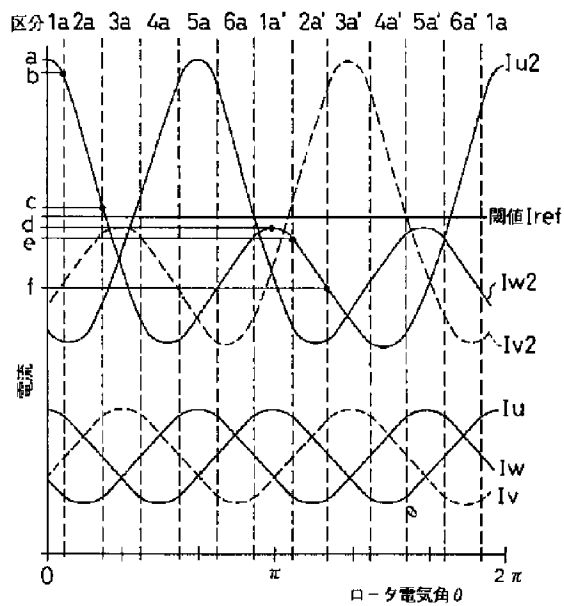




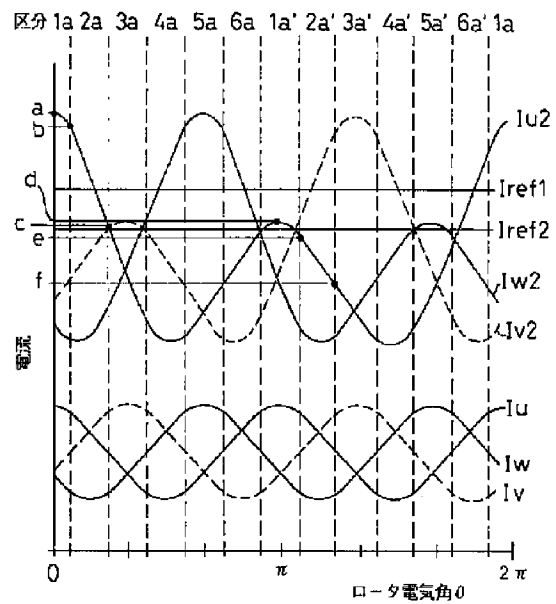
【図23】



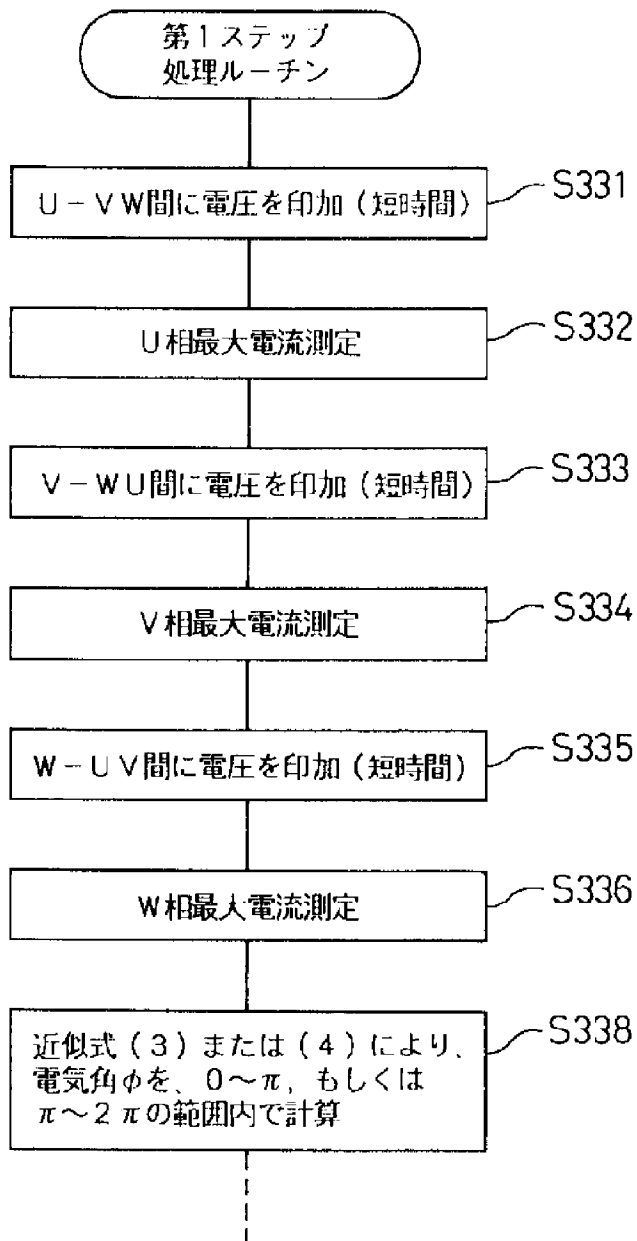
【図27】



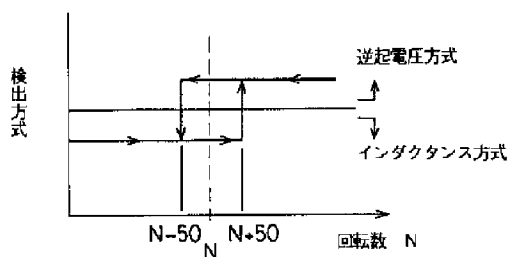
【図29】



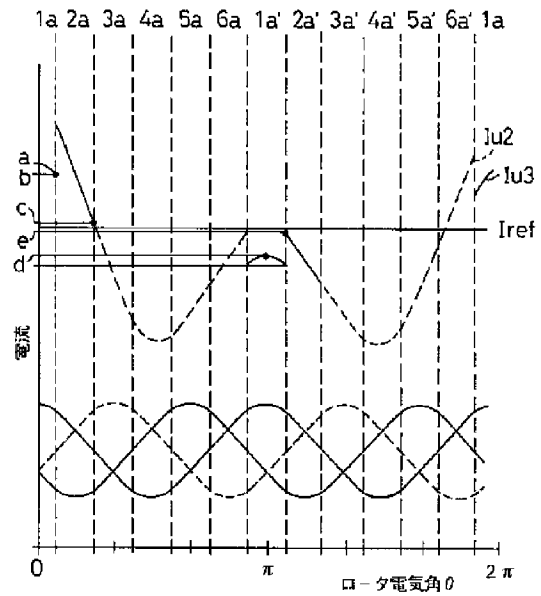
【図26】



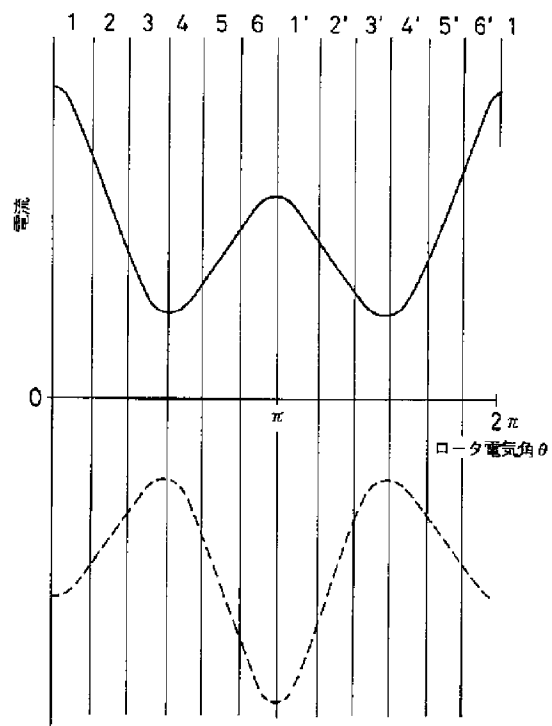
【図37】



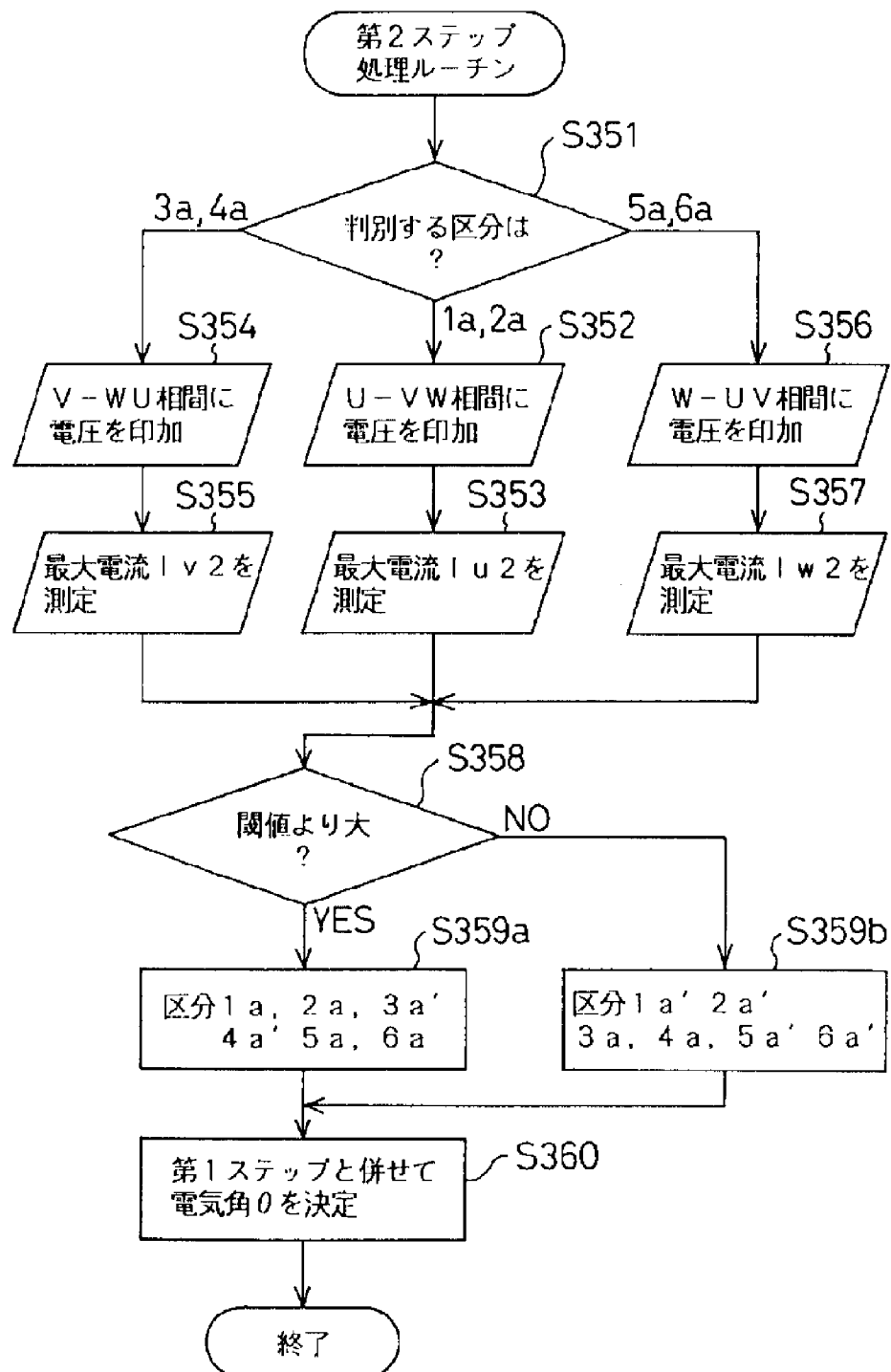
【図30】



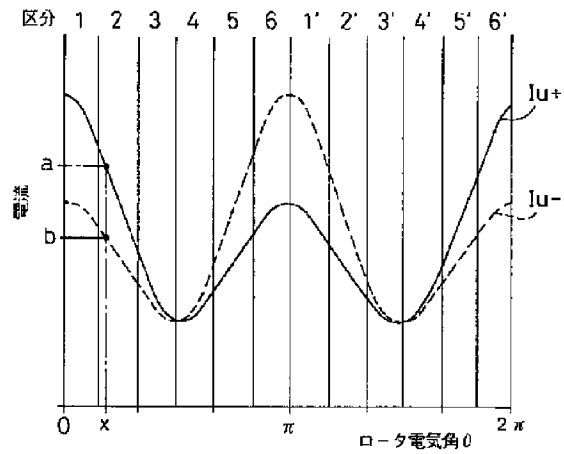
【図31】



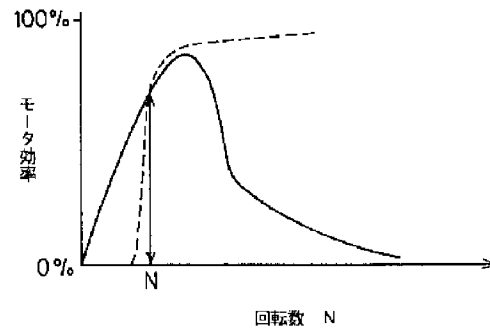
【図28】



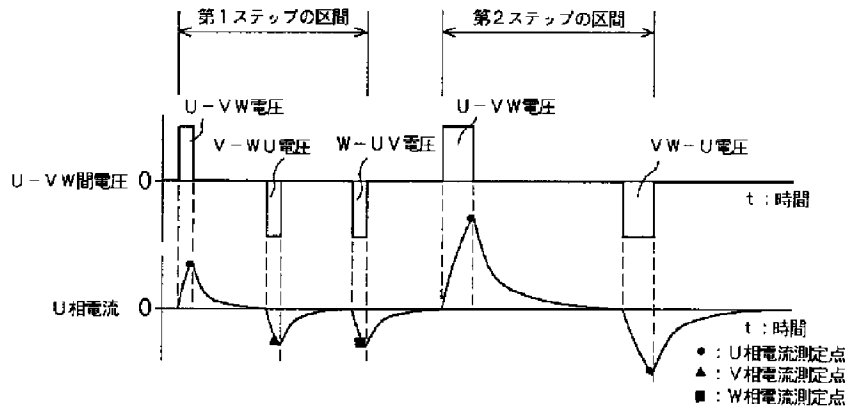
【図32】



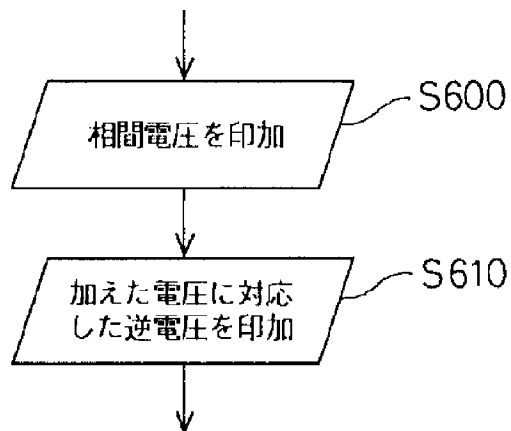
【図38】



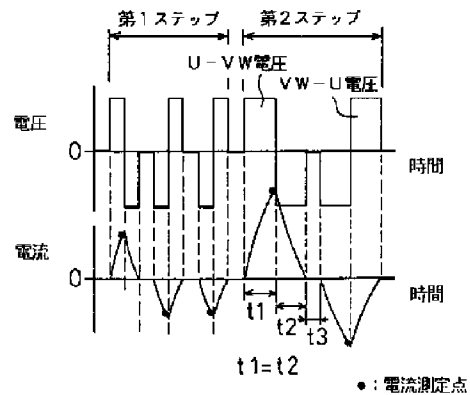
【図34】



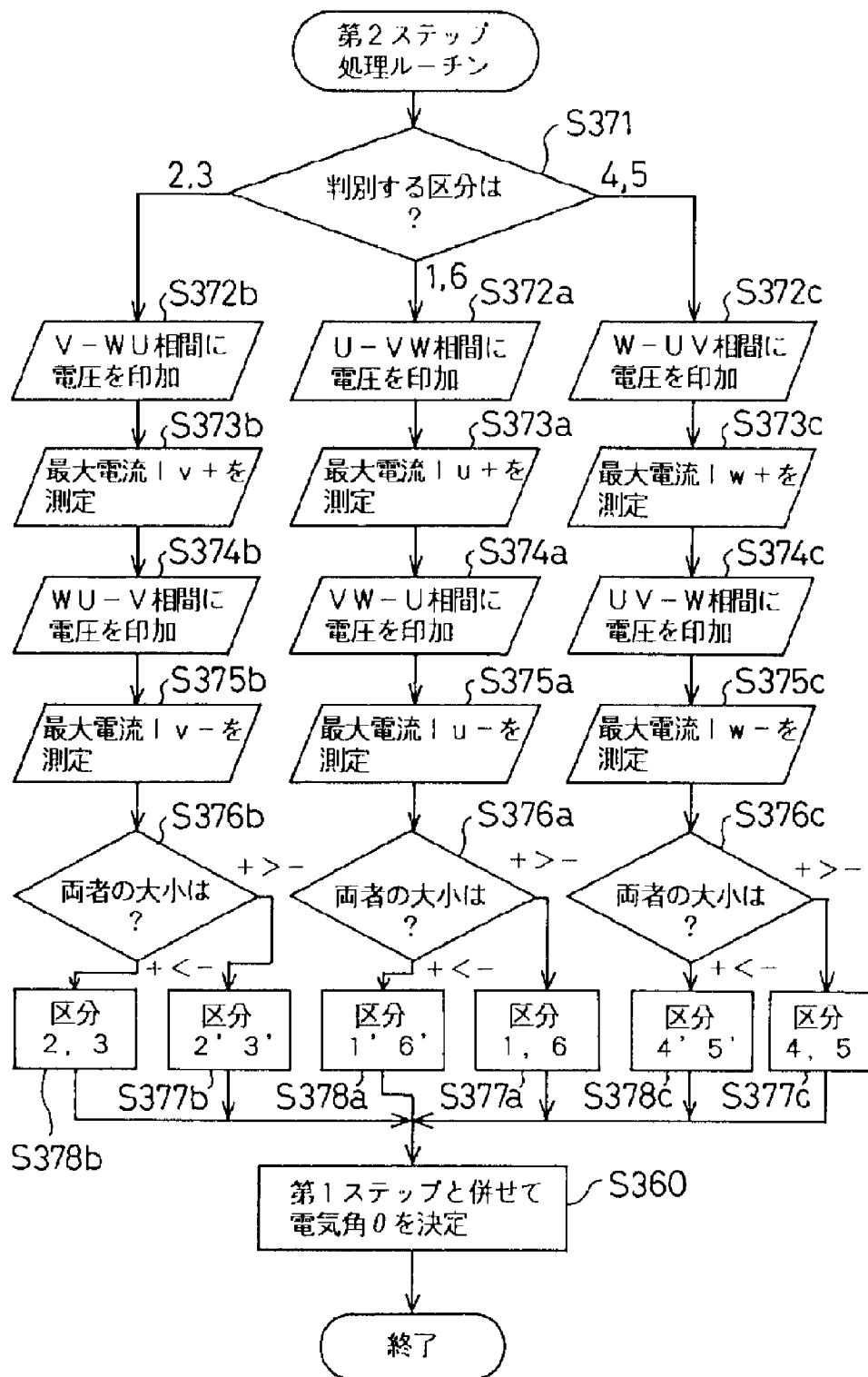
【図40】



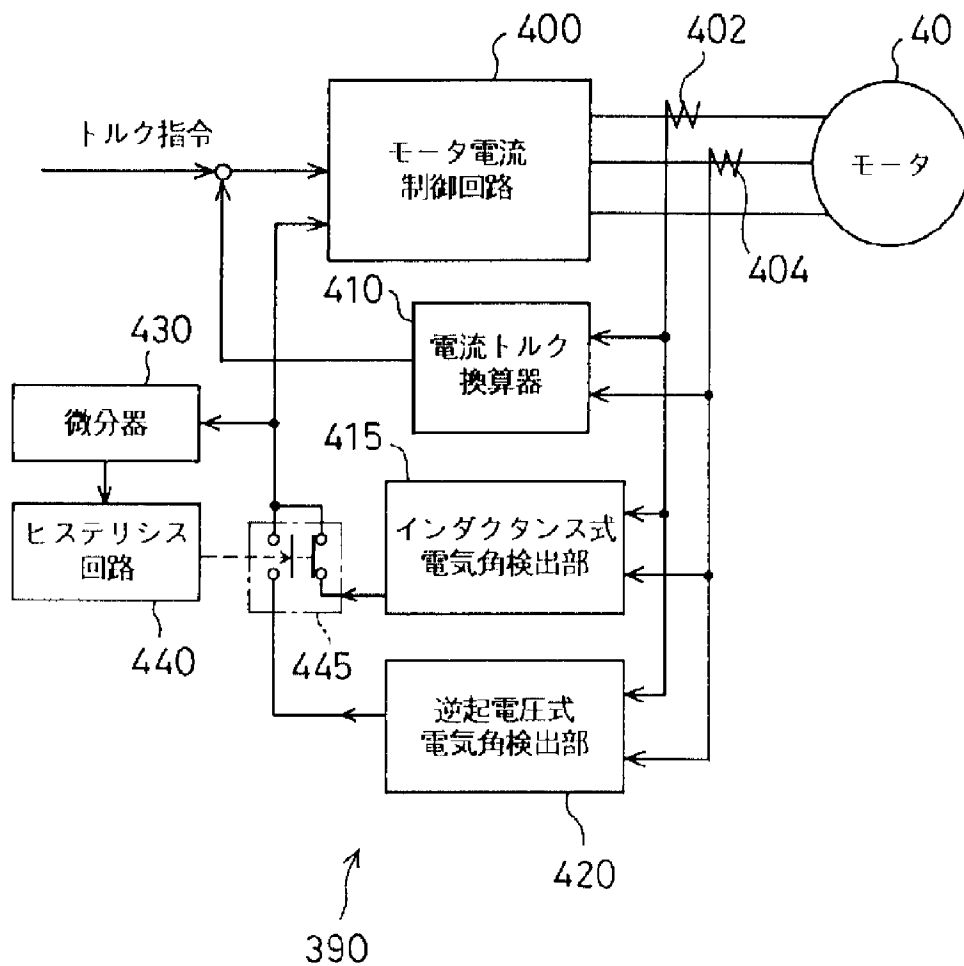
【図41】



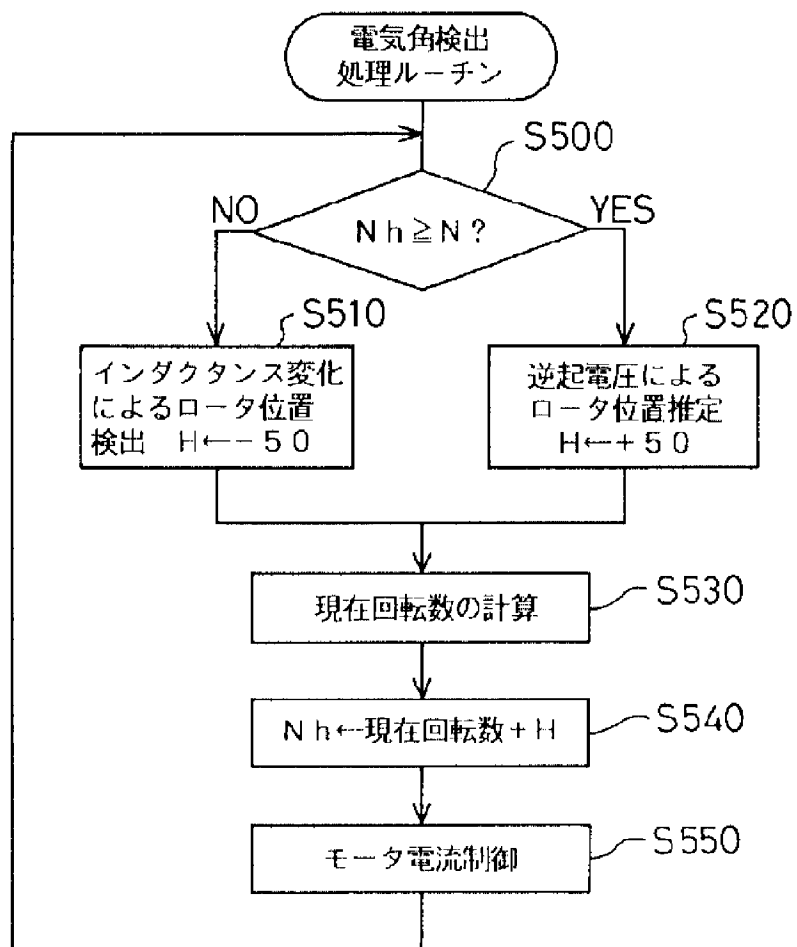
【図33】



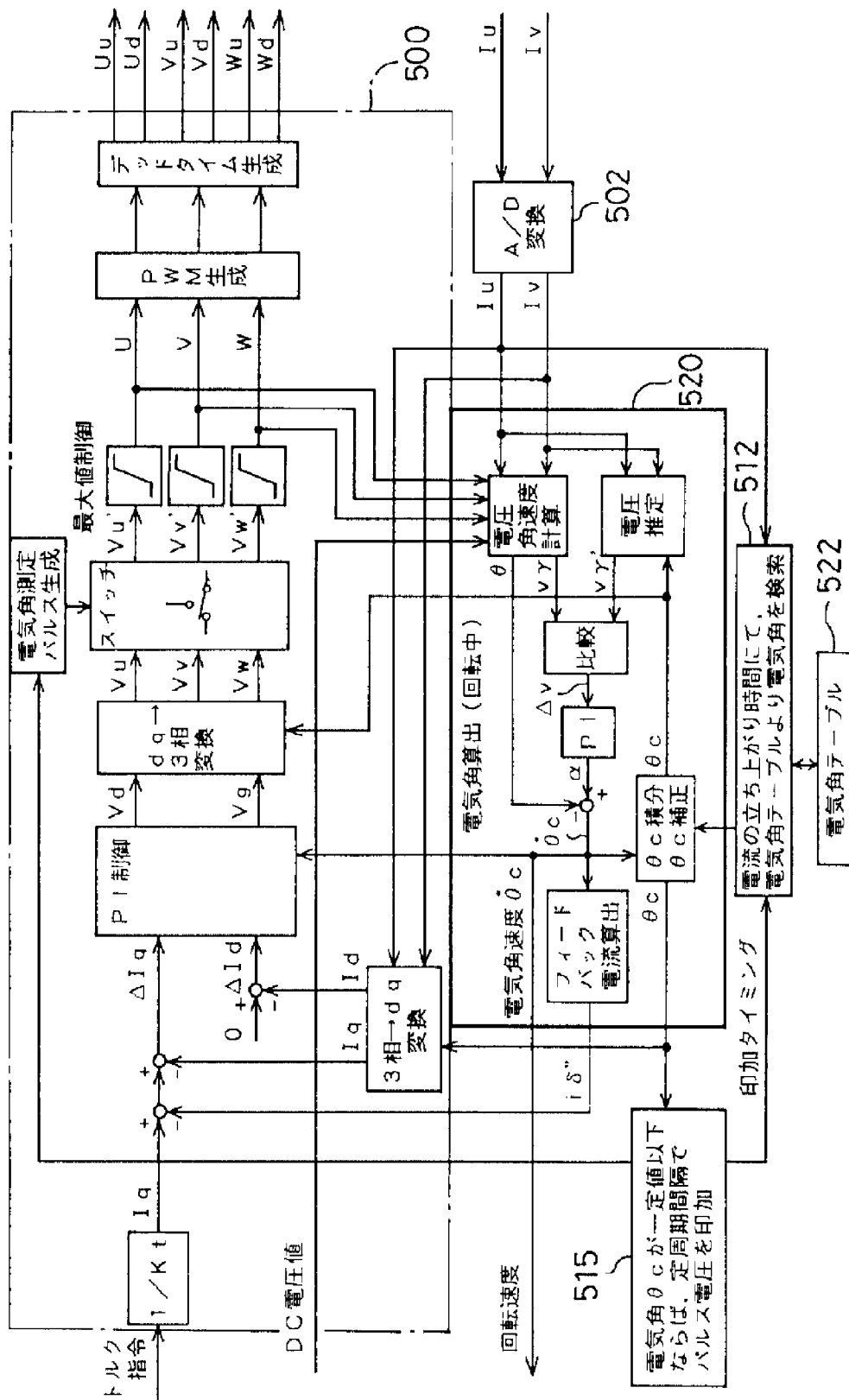
【図35】



【図36】

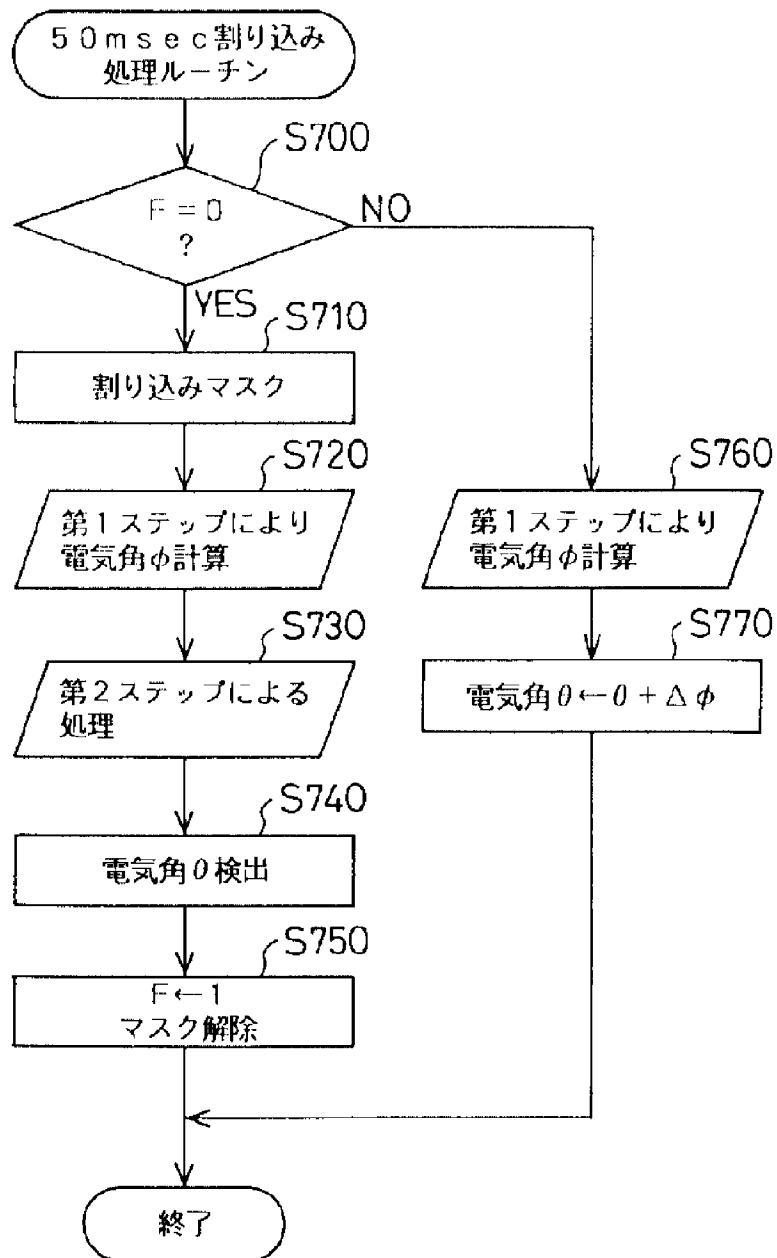


【図39】





【図42】



フロントページの続き

(72)発明者 多賀 善明  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動  
車株式会社内